

UNIVERSITE MONTPELLIER II
SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC

Place Eugène Bataillon
34095 MONTPELLIER cedex 5
Tél : 67 14 30 30 - Fax : 67 14 30 31

DESS
ACTIVITES ET AMENAGEMENTS LITTORAUX ET MARITIMES

RAPPORT DE STAGE
LE SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE
'GRASS'
ET
LE MODELE HYDROLOGIQUE
'ANSWERS'
ETUDE DU BASSIN VERSANT DE NDIBA
THYSSE-KAYMOR (SENEGAL)

effectué au

CIRAD-CA
Maison de la Télédétection
500, rue J.F. Breton
34093 MONTPELLIER cedex 5
Tél : 67 54 87 43

du 24/04/95 au 31/08/95
par Damien Urvoix

Maître de stage : Michel ARNAUD

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier les personnes qui m'ont aidé tout au long de ce stage :

. Michel ARNAUD (biométricien au CIRAD-CA, coordonnateur et représentant du CIRAD au sein de la Maison de la Télédétection), mon maître de stage, toujours disponible pour m'aider, et qui sut trouver les bons contacts et provoquer les bonnes rencontres.

. Albert FLORI (biométricien au CIRAD-CP), pour son aide **vitale** lors de l'installation du logiciel, sans qui GRASS n'aurait jamais '*tourné*' sur la station Hewlett-Packard

. Pascal PEREZ (agronome au CIRAD-CA), pour sa collaboration à l'étude du modèle ANSWERS, et son enthousiasme

. Christian PUECH (chargé de recherche au CEMAGREF-LCT), pour ses explications sur l'apport de la télédétection en hydrologie

. Jean-Christophe DESCONNETS (chercheur à l'ORSTOM), qui a mis à ma disposition tous les travaux déjà réalisés sur GRASS et le modèle hydrologique ANSWERS

. Philippe GRANIER (informaticien au CIRAD-SCI), qui m'a installé une '*super bécane*' avec une '*config d'enfer*'

. Christian GOUNEL (cartographe au CIRAD-CA, responsable de l'Espace Cartographie),
Alain CLOPES et François BALLEUX (informaticiens au CIRAD-CA)

. tout le personnel de la Maison de la Télédétection.

PRESENTATION

Du sujet :

- Installation du système d'information géographique GRASS (*'Geographical Resources Analysis Support System'*) du domaine public américain (récupéré via INTERNET), sur une station de travail Hewlett-Packard sous un environnement UNIX et X-WINDOWS.
- Apprentissage des fonctionnalités "*raster*" de GRASS et du modèle hydrologique ANSWERS (*'Areal Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation'*).
- Application du modèle hydrologique ANSWERS sur le bassin versant de Ndiba (Thyssé-Kaymor - SENEGAL), dans le cadre de la recherche sur le ruissellement en milieu soudano-sahélien.

Du document :

Ce rapport de stage s'organise de la façon suivante :

- chapitre 1 : mes motivations dans le choix de ce sujet de stage
 - chapitre 2 : l'entreprise d'accueil
 - chapitre 3 : quelques éclaircissements sur l'environnement informatique
 - chapitre 4 : un aperçu sur les systèmes d'information géographique
 - chapitre 5 : un 'mot' sur le système d'information géographique GRASS
 - chapitre 6 : le modèle hydrologique ANSWERS
 - chapitre 7 : l'application de GRASS-ANSWERS sur le bassin versant de Ndiba
 - chapitre 8 : le bilan et les perspectives de cette étude
 - chapitre 9 : la conclusion de ce rapport
-
- annexe 1 : guide d'installation de GRASS et répertorie les incidents rencontrés
 - annexe 2 : mini-guide utilisateur des principales fonctionnalités *raster* de GRASS

SOMMAIRE

1. CHOIX DU SUJET DE STAGE.....	1
2. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE.....	2
2.1 LE CIRAD	2
2.2 LE DEPARTEMENT DES CULTURES ANNUELLES (CIRAD-CA)	3
2.3 LA MAISON DE LA TELEDETECTION.....	3
3. L'ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE.....	5
3.1 GLOSSAIRE	5
3.2 LE SYSTEME D'EXPLOITATION UNIX	5
3.3 LE RESEAU INTERNET	6
3.4 L'INTERFACE HOMME - MACHINE X-WINDOWS / MOTIF	7
3.5 UN EXEMPLE PRATIQUE : GRASS	8
4. LES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE.....	9
4.1 DEFINITION	9
4.2 L'INFORMATION A REFERENCE SPATIALE.....	9
4.2.1 Mode de Représentation.....	10
4.2.2 Organisation.....	11
4.3 ACQUISITION DE L'INFORMATION	12
4.4 GESTION DE L'INFORMATION.....	12
4.5 TRAITEMENT DE L'INFORMATION	12
4.6 RESTITUTION DE L'INFORMATION	13
5. LE SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE GRASS.....	14
5.1 HISTORIQUE.....	14
5.2 UNE COMMUNAUTE D'UTILISATEURS.....	14
5.3 OPEN GIS.....	15
6. LE MODELE HYDROLOGIQUE ANSWERS	16
6.1 LE BASSIN VERSANT	16
6.2 LES PARAMETRES DES SOLS.....	16
6.3 LES PARAMETRES D'OCCUPATION DES SOLS.....	17
6.4 LES CARTES DES PENTES ET DES ORIENTATIONS.....	18
6.5 LES DONNEES PLUVIOMETRIQUES	18
6.6 LA POSITION DE L'EXUTOIRE.....	18
6.7 LE SYSTEME D'ECOULEMENT SOUTERRAIN.....	18
6.8 LES PARAMETRES DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	19
6.9 LA CARTE DES PENTES DES CANAUX.....	19
6.10 LA CARTE DES AMENAGEMENTS.....	19
6.11 LES RESULTATS DE ANSWERS.....	19
7. APPLICATION DE GRASS-ANSWERS AU BASSIN VERSANT DE NDIBA.....	20
7.1 PRESENTATION	20
7.2 LES DONNEES CARTOGRAPHIQUES.....	22
7.2.1 Les Cartes des Sols et de l'Occupation des Sols.....	22
7.2.2 Les Cartes Digitalisées	24
7.2.3 Les Cartes créées par GRASS	26
7.3 LE PARAMETRAGE D'ANSWERS	29
7.4 ANALYSE DE SENSIBILITE DES PARAMETRES ANSWERS	30
7.4.1 Analyse de la Profondeur de la Zone d'Infiltration (DF)	30
7.4.2 Analyse du Coefficient d'Infiltration (P).....	32
7.4.3 Analyse du Coefficient de Rugosité (RC).....	33
7.4.4 Analyse du Coefficient de Manning (N).....	35
7.4.5 Résultats de l'Analyse de Sensibilité	37

7.5 SIMULATION D'UNE CRUE DE TYPE DECENNAL.....	38
8. BILAN ET PERSPECTIVES	40
9. CONCLUSION	41
BIBLIOGRAPHIE	42

1. Choix du Sujet de Stage

Je rappellerais tout d'abord que j'ai pu intégrer le DESS '*Activités et Aménagements Littoraux et Maritimes*' dans le cadre de la formation continue, après une maîtrise de biologie des organismes et des populations (1985), un DUT d'informatique (1988) et quatre années d'expérience professionnelle en informatique. Cet enseignement pré-professionnel et ce stage devaient me donner des atouts pour accéder à un '*marché*' du travail toujours aussi incertain.

Aussi je souhaitais mettre à profit mes compétences antérieures et en acquérir de nouvelles, afin de proposer une double compétence sur un créneau porteur, l'eau. D'où le choix de ce sujet de stage, que je résumerais en trois mots-clés : UNIX, SIG, hydrologie.

Si l'informatique est un 'monde', UNIX et son environnement graphique sont un vaste 'continent' sur lequel je n'avais jamais posé le pied. Une approche en tant que simple 'utilisateur' devenait nécessaire, si ce n'est impérative.

Pour avoir travaillé sur un 'atelier de génie logiciel' dans le domaine de la gestion, il me semblait intéressant de connaître les 'outils' et les possibilités offertes par un système d'information géographique (SIG), ainsi que ses limites en hydrologie.

A une époque où l'on parle de l'eau en termes de sécheresse, de 'déluge' et de pollution, la compréhension et la connaissance de la **ressource en eau** - à l'échelle d'un bassin versant - deviennent indispensables à sa gestion et à son aménagement.

Ainsi ce stage me permit d'installer un système d'information géographique sous UNIX, de prendre en main le logiciel et d'en étudier une application en hydrologie.

2. Présentation de l'Entreprise

2.1 Le CIRAD

Le CIRAD, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, est un organisme scientifique spécialisé en agriculture des régions tropicales et subtropicales. Sous la forme d'un établissement public, il est né en 1984 de la fusion d'instituts de recherche en sciences agronomiques, vétérinaires, forestières et agro-alimentaires des régions chaudes.

Sa mission : contribuer au développement de ces régions par des recherches, des réalisations expérimentales, la formation, l'information scientifique et technique.

Il emploie 1800 personnes, dont 900 cadres, qui interviennent dans une cinquantaine de pays. Son budget s'élève à 1 milliard de francs, dont plus de la moitié provient de fonds publics (chiffres pour 1993).

Le CIRAD comprend sept départements de recherche :

- . cultures annuelles (CIRAD-CA)
- . cultures pérennes (CIRAD-CP)
- . productions fruitières et horticoles (CIRAD-FLHOR)
- . élevage et médecine vétérinaire (CIRAD-EMVT)
- . forêts (CIRAD-Forêt)
- . systèmes agro-alimentaires et ruraux (CIRAD-SAR)
- . gestion, recherche, documentation et appui technique (CIRAD-GERDAT)

Le CIRAD travaille dans ses propres centres de recherche, au sein de structures nationales de recherche agronomique des pays partenaires, ou en appui à des opérations de développement.

2.2 Le Département des Cultures Annuelles (CIRAD-CA)

Les systèmes de culture comprenant des plantes annuelles constituent la base d'une très grande majorité des exploitations agricoles du Sud.

Le CIRAD-CA s'est fixé quatre objectifs :

- . accroître la productivité des agricultures tropicales, en proposant des systèmes de culture respectueux de l'environnement
- . la connaissance des espèces végétales
- . l'amélioration de la qualité des produits par la transformation et la valorisation
- . la recherche de propositions pour des politiques agricoles.

Pour atteindre ces objectifs, les programmes de recherche s'appuient sur dix *unités de recherche*, lieux où sont accumulées et gérées les méthodes et les connaissances.

Le laboratoire CIG, sous-ensemble de l'unité de recherche '*facteurs et conditions du milieu*' (UR-FCM) du CIRAD-CA, a rejoint la Maison de la Télédétection, ainsi que quatre autres départements du CIRAD (CP, Forêt, EMVT et GERDAT).

2.3 La Maison de la Télédétection

Depuis la création du pôle télédétection en 1984, l'idée de rapprocher les chercheurs dans un même lieu devenait de plus en plus évidente : la Maison de la Télédétection a vu le jour en septembre 1994.

Pour faciliter la coopération entre équipes, elle regroupe des chercheurs de l'ENGREF (Ecole nationale du génie rural, des eaux et des forêts), du CEMAGREF (Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts), du CIRAD, de l'ORSTOM (Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération), de l'INRA (Institut national de recherche agronomique) et de l'association SIG-LR (Système d'Information Géographique Languedoc-Roussillon). Une réunion facilitée par Agropolis.

Le CEMAGREF, maître d'oeuvre et gestionnaire de la Maison de la Télédétection, a installé avec l'ENGREF le Laboratoire Commun de Télédétection (LCT).

Les organismes conservent leurs programmes de recherche mais ils partagent l'espace, les moyens et les formations. Ainsi les 16 chercheurs du CIRAD présents dans la Maison de la Télédétection constituent une 'base arrière' pour les chercheurs expatriés, qui y trouvent les compétences et les équipements les plus performants pour analyser leurs données de terrain.

Pour conclure je citerais quatre projets réalisés (ou en cours) par le CIRAD-CA grâce à l'apport de la télédétection ou des SIG :

- identification et évaluation statistique et cartographique des surfaces cultivées en coton et vivrier au Burkina Faso
- identification des ressources naturelles de l'île de Santiago au Cap Vert
- identification des surfaces cultivées en canne à sucre en Guadeloupe (en cours)
- aménagement des hauts plateaux du Vietnam (en cours).

3. L'Environnement Informatique

3.1 Glossaire

Avant de présenter l'environnement informatique (UNIX, INTERNET, X-WINDOWS / MOTIF), quelques définitions sommaires me semblent nécessaires.

- **Logiciel** : ensemble de programmes destinés à un ordinateur. Un programme est un ensemble d'instructions codées permettant de réaliser une tâche.
- **Système d'exploitation** : logiciel spécifique à un ordinateur. Il contrôle le déroulement des activités d'un ordinateur. Il gère la circulation des informations entre les logiciels et les différents éléments de l'ordinateur (clavier, écran, imprimante, disque dur ,...).
- **Réseau** : système d'ordinateurs géographiquement éloignés les uns des autres, interconnectés par des télécommunications, généralement permanentes, et communiquant par l'intermédiaire de protocoles.
- **Interface Homme-Machine (IHM)** : système de gestion d'interface *graphique* entre l'utilisateur et la machine. Il permet à l'utilisateur de réaliser des tâches de manière simple et conviviale, sans connaître les 'commandes' informatiques.

3.2 Le Système d'Exploitation UNIX

Fruit du travail de chercheurs américains de l'université de Berkeley dans les années 1970, UNIX est un système d'exploitation '*ouvert*', multi-utilisateurs et multitâches.

Ouvert aux utilisateurs, qui peuvent travailler simultanément sur un même ordinateur : UNIX offre à chacun d'eux un 'espace de travail' protégé par des 'droits', et permet l'exécution de plusieurs tâches en même temps (notion de temps partagé).

Ouvert aux applications, qui peuvent fonctionner sur des ordinateurs différents : les sources des programmes d'une application écrite en langage C, une fois compilés, peuvent s'exécuter sur des architectures matérielles différentes (notion de portabilité), à la différence de systèmes d'exploitation dits 'propriétaires' (exemple : MS-DOS).

Ouvert aux ordinateurs, qui peuvent communiquer plus facilement entre eux quelque soit le type de machine, grâce à des concepts de communications développés pour UNIX et étendus aux autres systèmes d'exploitations.

3.3 Le Réseau INTERNET

Au début des années 1970, l'armée américaine prit conscience que son système de défense militaire était vulnérable, au point qu'un missile 'bien placé' pouvait l'anéantir. Tous les sites militaires étaient reliés par un réseau informatique *centralisé* à un unique centre de commande (cf. figure 1).

L'armée américaine demanda alors à des chercheurs et universitaires de résoudre ce problème. Ainsi naquit INTERNET ('*Interconnection Network*'). A la place d'un réseau centralisé, ils proposèrent un réseau *maillé* (cf. figure 2): l'information circule d'un site à un autre sans parcours déterminé à l'avance, et en plus l'information peut être *répartie* sur plusieurs sites.

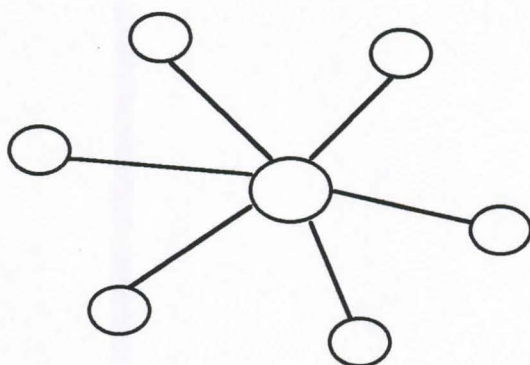


Figure 1 : Schéma d'un réseau centralisé

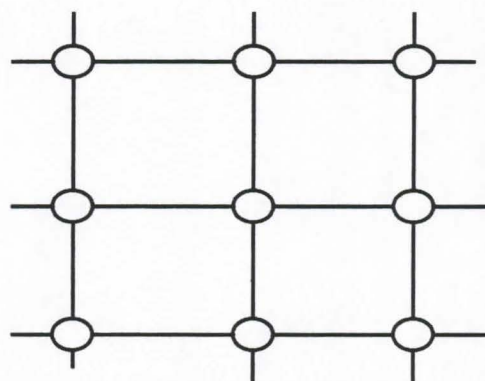


Figure 2 : Schéma d'un réseau maillé

Essentiellement utilisé par les centres de recherche et les universités de par le monde, INTERNET est un 'monde' sans argent, où l'information est accessible à tous, et circule librement. De nombreux logiciels du domaine public (exemple : UNIX) peuvent être ainsi récupérés gratuitement.

Aujourd'hui INTERNET est victime de son succès (plus de 100 millions d'ordinateurs connectés, cela ne va pas sans provoquer quelques 'embouteillages'), et menacé par le mercantilisme des grands groupes multimédias qui veulent s'approprier l'Information.

NB : adresse Internet du CIRAD : www.cirad.fr

3.4 L'Interface Homme - Machine X-WINDOWS / MOTIF

Si l'informatique fut réservé pendant longtemps à des 'spécialistes', l'évolution technologique a permis de transformer les ordinateurs en un produit 'courant' au même titre qu'un téléviseur ou une chaîne hi-fi.

Restait à la rendre abordable au plus grand nombre, à la démystifier aux yeux du public. La 'puissance' n'étant plus une limite, il était temps que 'l'agréable' et 'le fonctionnel' s'unissent dans un seul objectif : convivialité entre l'homme et la machine. De ces interfaces homme-machine (IHM), la plus connue est sans aucun doute WINDOWS.

Sous UNIX ce concept d'interface, appelée X-WINDOWS, a été élaboré selon une *architecture client-serveur* (cf. figure 3) : chaque application est un client demandant à un serveur de réaliser une tâche (un service). Les clients et le serveur dialoguent entre eux selon le protocole de communication X11, d'où le nom X-WINDOWS. Cette architecture assure une *indépendance matérielle* (notion d'ouverture), car toutes les caractéristiques techniques de l'affichage (taille de l'écran, résolution, nombre de couleurs, ...) sont prises en charge par le serveur. La gestion des fenêtres (agrandir une fenêtre, iconifier une fenêtre, ...) est confiée à un client particulier appelé le gestionnaire de fenêtres ('*windows manager*'), et fait appel à une *approche événementielle*.

A l'intérieur d'une fenêtre la partie graphique est gérée par l'application : icônes, menus déroulants, actions 'cliquer-glisser', 'pointer-déplacer', ... Les logiciels comme OSF-MOTIF, ATHENA, ... proposent des bibliothèques d'objets graphiques ('*widgets*'), offrant aux développeurs la possibilité d'exprimer leur créativité dans ce souci constant de convivialité.

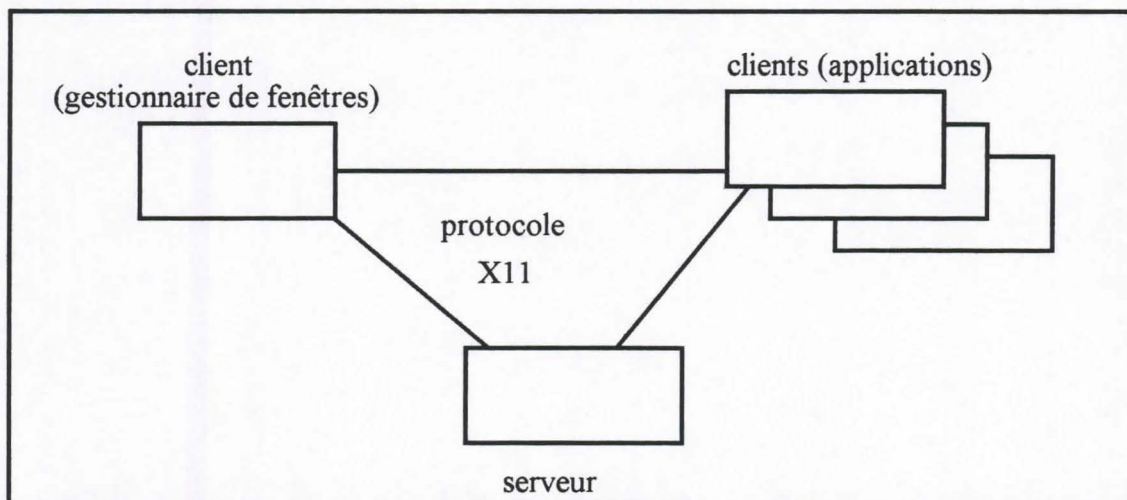


Figure 3 : schéma de l'environnement X-WINDOWS

3.5 Un Exemple Pratique : GRASS

Le système d'information géographique GRASS a été développé sous UNIX en langage C. Par INTERNET on peut récupérer les sources des programmes, et installer l'application en compilant les programmes sur son ordinateur (après quelques modifications apportées aux sources, la portabilité n'étant jamais 'parfaite').

Le logiciel existe en version X-WINDOWS sous MOTIF, évitant à l'utilisateur la saisie au clavier de commandes fastidieuses.

Dans cet exemple sont conjuguées les qualités d'un système d'exploitation *ouvert*, d'un réseau *maillé* et d'une interface homme-machine *indépendante*.

4. Les Systèmes d'Information Géographique

4.1 Définition

Un SIG est un ensemble d'outils informatiques permettant d'*acquérir*, de *gérer*, de *traiter* et de *restituer* de l'*information à référence spatiale* : c'est à dire une information localisée géographiquement selon un système de coordonnées et un mode de projection.

4.2 L'Information à Référence Spatiale

Un objet 'spatial' est caractérisé par 3 propriétés :

- une *position*
- un *attribut* descriptif
- des *relations spatiales* avec d'autres objets.

• **position** : pour se repérer à la surface de la terre, il existe deux *systèmes de coordonnées* :

- cartésien (x,y)
- géographique (latitude, longitude).

Cependant la terre pouvant être considérée comme un ellipsoïde (sphère aplatie aux pôles) ou un géoïde (sphère correspondant au niveau moyen des mers), toute projection de sa surface sur un plan est imparfaite, et ne peut conserver à la fois les angles, les distances et les surfaces.

Aussi on parle de *projection conforme* quand les angles sont respectés (ex : projection de Lambert, cf. figure 4), et de *projection équivalente* quand les rapports de surface sont conservés : les méridiens et les parallèles quadrillent la surface de la terre, toutes les 'cases' ainsi formées ont la même surface (ex : projection de Mercator, cf. figure 5).

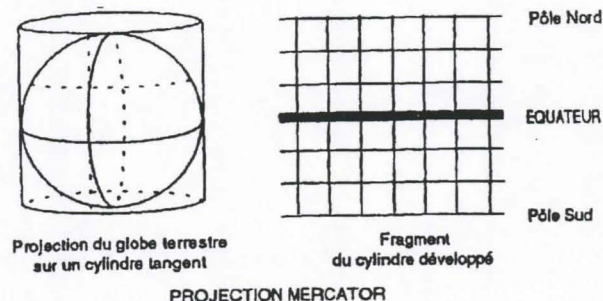
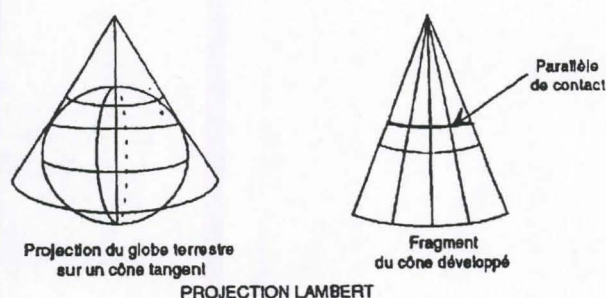


Figure 4 : schéma de la projection Lambert

Figure 5 : schéma de la projection Mercator

Remarque : un utilisateur choisira le mode de projection le plus approprié à sa région de travail et à ses objectifs.

- **attribut** : décrit l'objet spatial. Il peut s'agir d'une *valeur 'originale'* (ex : signal radiométrique, altitude, ...) ou bien d'un '*code*' correspondant à une description (ex : 1 = champ, 2 = forêt, ...).
- **relations spatiales** : décrit les relations d'un objet avec ses '*voisins*' (ex : à droite de, relie les noeuds, ...). Ces relations spatiales sont importantes dans le cas de la représentation '*vecteur*'.

4.2.1 Mode de Représentation

Les données spatiales sont représentées en mode '*raster*' ou '*vecteur*' :

- **raster** : l'espace est divisé en une *maille* régulière, rectangulaire ou carrée (cf. figure 6). Chaque cellule est référencée par une ligne et une colonne, et contient un attribut. Ce maillage est caractérisé par une *résolution* : taille d'une cellule sur le terrain (ex : 30 mètres). Les relations spatiales entre les cellules sont implicites.

Remarque : ce mode de représentation est lié à la notion d'*image*.

- **vecteur** : un objet est représenté par un *point*, une *ligne* ou une *surface* (cf. figure 6).
Remarque : une ligne est à son tour définie par plusieurs points, et une surface par une ligne fermée). Chaque point est référencé par des coordonnées cartésiennes ou géographiques, et des attributs descriptifs leurs sont affectés. Le mode vecteur nécessite la mise en place d'une *topologie* : 'codage' des relations spatiales entre les objets (cf. figure 7). Un réseau topologique est constitué d'*arcs* connectés entre eux par des *noeuds*. Une suite d'arcs fermés forme un *polygone*. La topologie est indispensable à une analyse spatiale ultérieure.

Remarque : ce mode de représentation est lié à la notion de *carte*.

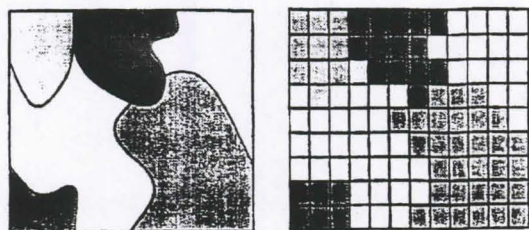


Figure 6 : mode de représentation '*vecteur*' (à gauche) et '*raster*' (à droite)

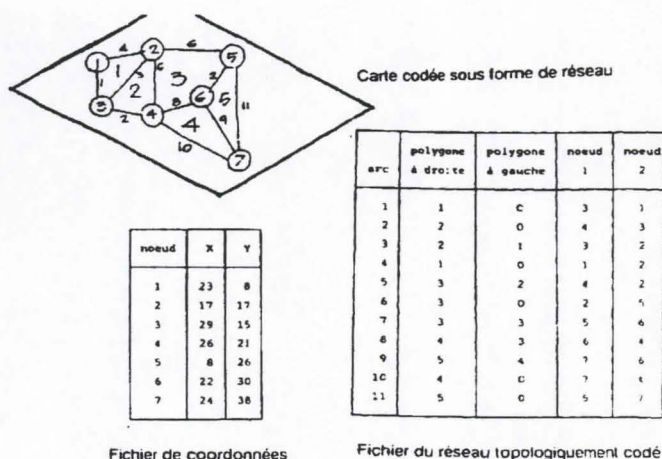


Figure 7 : exemple de topologie

Le mode *raster* avec ses données sous forme de tableaux est facile à manipuler par un ordinateur, et il se prête bien au traitement d'image. Cependant il nécessite une capacité mémoire importante pour travailler sur ses données, et du fait de sa structure sa précision (liée à la résolution du maillage) peut laisser à désirer pour certaines opérations.

Le mode *vecteur* est plus proche de la réalité et offre une plus grande précision. Mais les croisements de cartes sont plus délicats et 'gourmands' en temps de calcul.

Ces deux modes de représentation sont complémentaires, et l'on utilise l'un ou l'autre selon ses besoins. *Remarque* : il est toujours possible de passer d'un mode à un autre, avec une *perte* d'information plus ou moins importante selon la méthode utilisée.

4.2.2 Organisation

La plupart des SIG emploie une *approche thématique* de l'information : à chaque thème (végétation, géologie, réseau routier, ...) correspond une carte. Ce concept rime avec 'facilité' de mise en oeuvre (acquisition, gestion, restitution) et 'maniabilité' : ces différentes 'couches' d'information pourront être utilisées ensemble pour les traitements d'analyse (cf. figure 8).

A noter que quelques SIG ont adopté une *approche orientée objet* : un objet (au sens informatique) ne se limite pas aux 3 propriétés : position, attribut et relations spatiales. C'est une entité complexe pouvant contenir des informations diverses (image, son, texte), communiquer avec ses semblables par des *messages* et déclencher des *actions*. Sa mise en oeuvre n'a cependant pas la souplesse de l'approche thématique.

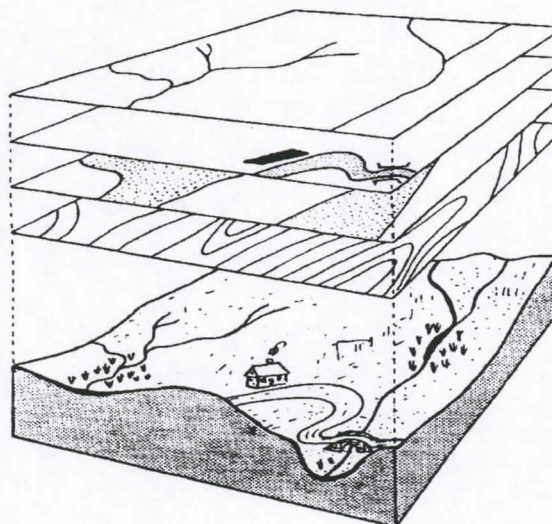


Figure 8 : schéma d'une approche thématique

4.3 Acquisition de l'Information

Manuelle ou automatisée, c'est une étape importante (et souvent la plus longue) puisqu'elle conditionne en partie la validité des résultats d'analyse spatiale.

Plusieurs procédés d'acquisition existent :

- **manuel** : saisie au clavier des coordonnées des points (mode vecteur) ou des valeurs des cellules (mode raster)
- **digitalisation** : transfert dans un fichier des coordonnées des points de la surface de la table désignés par l'opérateur à l'aide d'un réticule (viseur)
- **scannérisation** : transformation d'un document 'papier' en un fichier 'numérique'
- **importation de fichiers** : provenant d'autres SIG, d'organismes de production de données (ex : IGN), d'images satellitaires brutes ou classifiées, ... L'important dans ce cas est le format d'échanges des données.

Avant de pouvoir stocker et exploiter ces données, il faut encore ajouter :

- la description des données (attributs)
- la correction des erreurs liées au mode d'acquisition
- la mise en forme des données : création de la topologie (mode vecteur), conversion au format du logiciel, manipulations géométriques (échelle, projection, ...)

4.4 Gestion de l'Information

Cette gestion est confiée à un *système de gestion de base de données* (SGBD), qu'il soit interne au SIG ou externe (nécessite alors une interface). Quelque soit l'architecture du SGBD (relationnel, hiérarchique, réseau) il assure au minimum les quatre fonctions fondamentales en gestion : ajout, modification, suppression et consultation des données.

Remarque : la plupart des SIG ont opté pour des SGBD relationnels qui offrent des langages de requêtes simples et performants.

4.5 Traitement de l'Information

L'intérêt d'un SIG est donc d'offrir des fonctions permettant d'effectuer une analyse spatiale. Cette analyse peut se décliner en plusieurs grands thèmes :

- **mesure de l'espace** : distances, surfaces, volumes, ...
- **reclassification** : changement ou regroupement des valeurs des données
- **croisement de cartes** : opérations arithmétiques et logiques
- **analyse statistique** : moyenne, minimum, médiane, ...

- **analyse de voisinage** (cf. figure 9):

- proximité : objets situés à une certaine distance d'autres objets (notion de 'buffets')
- contiguïté : la valeur d'un objet dépend de celles de ses voisins
- connectivité : détermine les limites d'une région en recherchant, à partir d'un point et dans toutes les directions de l'espace le premier point vérifiant une propriété particulière

- **recherche de chemin optimal** : le plus court chemin entre deux points

- **interpolation** : à partir d'un échantillon de points, il faut déterminer la valeur des points manquants.

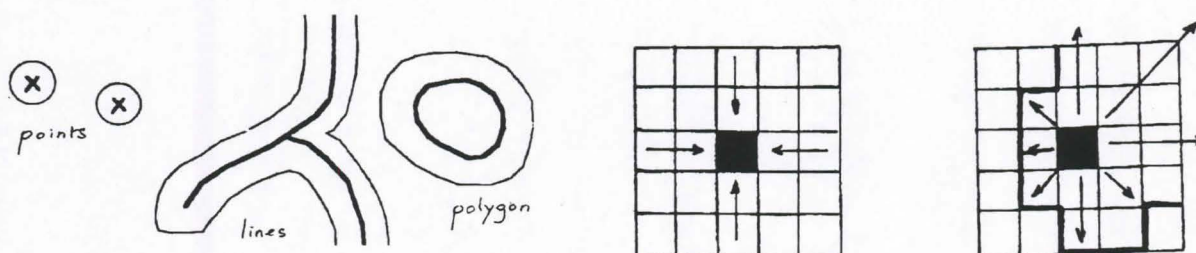


Figure 9 : analyses de proximité (à gauche), contiguïté (au centre) et connectivité (à droite)

4.6 Restitution de l'Information

Cette restitution peut prendre les formes suivantes :

- tableaux
- graphiques
- cartes
- vue en 3 dimensions
- animations (pour des machines 'puissantes' !)

Le support de cette restitution peut être l'écran, une imprimante ou des fichiers.

5. Le Système d'Information Géographique GRASS

5.1 Historique

GRASS (*'Geographical Resources Analysis Support System'*) est né au début des années 80 à l'Office de l'Environnement de l'Armée, Fort Hood - Texas. Développé par les ingénieurs du CERL (*'Construction Engineering Research Laboratory'*), son but initial était d'assister les responsables de l'aménagement des installations militaires.

Son potentiel intéressa vivement l'administration américaine qui l'adopta (après essais) pour ses grands services : *'Soil Conservation Service'*, *'National Park Service'*, *'U.S. Geological Survey'*, ...

SIG orienté raster, GRASS s'est enrichi de fonctionnalités vecteur afin de pouvoir importer des cartes par digitalisation, et de traitements d'images pour réaliser ses propres classifications (*remarque* : il ne s'agit pas pour autant de vouloir rivaliser avec des SIG orientés vecteur comme ARC-INFO, ou des logiciels spécialisés dans le traitement d'image comme ERDAS !).

SIG du domaine public américain, aujourd'hui GRASS existe sur plus de 1000 sites répartis ainsi : - 45 % agences fédérales

- 25 % entreprises privées
- 25 % universités
- 5 % collectivités locales
- 5 % étranger.

Remarque : GRASS fut le premier SIG sous UNIX, et représente à ce jour plus de 250 programmes, 300.000 lignes de 'code' et 40 années/homme de développement.

5.2 Une Communauté d'Utilisateurs

Au delà d'un simple SIG gratuit, GRASS est aussi (ou surtout) une communauté internationale d'utilisateurs réunis au sein du *'GRASS Inter-Agency Steering Committee'* qui organise 2 à 3 fois par an des réunions pour coordonner les axes de développement du logiciel, les intégrations avec/entre d'autres systèmes, ...

Cette communauté reliée par une messagerie électronique (INTERNET) contribue aussi au développement de GRASS en y apportant des nouveaux programmes ou des adaptations, et répond aux questions/problèmes lancés sur le 'réseau'.

Remarque : adresse INTERNET : www.cecer.army.mil.

5.3 Open GIS

GRASS se définit 'lui-même' comme un 'Open GIS' (SIG 'ouvert'). Plutôt que de tout réinventer, GRASS s'appuie sur d'autres logiciels du domaine public pour constituer une offre plus complète :

- RIM, un système de gestion de bases de données relationnel développé par l'université de Washington
- MAPGEN, un ensemble d'outils de production de cartes développé par l'*U.S. Geological Survey* (USGS)
- GCTP, un ensemble d'outils de translation de coordonnées développé par l'USGS
- PBMPLUS, un ensemble d'outils de manipulation d'images développé par Jeff Poskanzer
- XGEN, un langage pour générer des interfaces X-WINDOWS.

Cette ouverture (caractéristique du monde UNIX) permet à chaque composant d'évoluer séparément, et offre plus de souplesse quant à l'intégration de GRASS dans un système informatique existant.

Remarque : l'annexe 2 décrit les différents formats d'échange de données (modes vecteur et raster) acceptés par GRASS.

6. Le Modèle Hydrologique ANSWERS

ANSWERS (*'Areal Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation'*) a été développé par les professeurs David B. Beasley et Larry F. Huggins. Réalisé pour simuler le comportement des bassins versants agricoles, il s'intéresse à l'érosion des sols, au transport des sédiments et à la qualité des eaux.

ANSWERS est un modèle orienté '*événement*', c'est à dire une pluie, qui peut être uniforme ou distribuée sur l'ensemble du bassin. Il essaie de reproduire les phénomènes liés à un épisode pluvieux :

- l'interception par la végétation
- l'infiltration jusqu'à saturation du sol
- la rugosité de la surface du sol
- l'écoulement souterrain
- le ruissellement.

Remarque : pour présenter les différents composants du modèle, je suivrais les étapes successives constituant un '*projet*' ANSWERS.

6.1 Le Bassin Versant

Pour délimiter le bassin versant, il faut :

- **un masque** : c'est à dire une carte raster avec deux types de catégories (0=no data, 1=bassin). Le modèle ne tient compte que des cellules à '1', les autres sont masquées
- **une résolution** : taille d'une cellule sur le terrain.

ANSWERS crée de son côté une région ajustée à la carte servant de masque, et une carte raster appelée *project_name.ELEMENT*. Chaque cellule de cette carte contient un numéro correspondant à ses coordonnées ligne-colonne.

6.2 Les Paramètres des Sols

La carte raster décrivant les types de sol ne doit pas contenir de catégorie '0'. Pour chaque catégorie de sol, il faut définir les paramètres suivants :

- **la porosité totale (TP)** en % : un sol est composé de trois volumes : air, eau et sol. La porosité totale peut être définie comme étant la somme des volumes d'air et d'eau.
- **la capacité de rétention du sol (FP)** en % de saturation : avec une humidité croissante du sol, il arrive un moment où l'eau commence à drainer sous l'effet de la gravité. La capacité de rétention du sol détermine à partir de quel taux de saturation débute ce drainage.

- **les paramètres d'infiltration** : l'infiltration dans un sol diminue quand l'humidité de ce sol augmente. Trois facteurs permettent de paramétrer l'équation de ce phénomène (à partir de Horton (1940), modifié Holtan (1961) : $F(t) = FC + A * (PIV / TP)^P$ avec PIV : eau présente dans le profil) :
 - la vitesse d'infiltration à saturation (FC) en mm/heure : taux auquel le sol absorbe l'eau quand il est saturé
 - la différence entre les vitesses d'infiltration maximum (F0) et à saturation (A) en mm/heure
 - le coefficient d'infiltration (P) : décrit cette diminution de la capacité d'infiltration quand l'humidité augmente.
- **la profondeur de la zone d'infiltration (DF)** en mm : c'est la profondeur de sol qui influence le phénomène d'infiltration à la surface.
- **l'humidité antérieure du sol (ASM)** en % de saturation : c'est l'humidité présente dans le sol au début de l'événement pluvieux considéré.
- **le facteur d'érosion du sol (K)** : ce paramètre fait parti de l'équation USLE (*'Universal Soil Loss Equation'*) et détermine le degré d'érodabilité du sol considéré.
- **l'écoulement souterrain** en mm/24h : correspond à la vitesse d'écoulement de la nappe phréatique vers la nappe d'eau libre.
- **la fraction du plan d'eau libérée** : correspond à la fraction de la nappe phréatique susceptible d'être libérée vers la nappe d'eau libre.

6.3 Les Paramètres d'Occupation des Sols

La carte raster de l'occupation des sols ne doit pas comprendre de catégorie '0'. Pour chaque catégorie, il faut renseigner les paramètres suivants :

- **la description du type d'occupation du sol (CROP)** : cette description sert uniquement pour l'impression des résultats.
- **le potentiel d'interception de la pluie par la végétation (PIT)** en mm : correspond au volume d'eau susceptible d'être absorbé par le type de végétation considéré dans le cas d'un recouvrement total de la surface du sol.
- **le pourcentage de couverture actuel (PER)** en % : pourcentage de la surface du sol protégé par le couvert végétal considéré et pour lequel une partie de la pluie est interceptée.
- **la rugosité de surface** : la surface d'un sol est composée de dépressions qui retiennent l'eau. Deux facteurs permettent de caractériser cette surface :
 - le coefficient de rugosité de surface (RC) : décrit la fréquence et l'importance de ces dépressions
 - le maximum de hauteur de rugosité (HU) en mm : à partir d'un profil de la surface du sol, on peut mesurer la profondeur maximum de ces dépressions.

- **le coefficient de Manning (N)** : coefficient hydrologique qui traduit le retard à l'écoulement des eaux de surface.
- **l'érosion relative ('C')** : combinaison des paramètres C et P de l'équation USLE (*'Universal Soil Loss Equation'*), ce paramètre définit le potentiel érosif d'un sol soumis à une pratique agricole déterminée, par rapport au un même sol supportant une jachère nue et travaillée.

6.4 Les Cartes des Pentes et des Orientations

Les pentes doivent être exprimées en **dixième de pour-cent**, et les orientations selon huit classes :

135	90	45
180	★	360
225	270	315

6.5 Les Données Pluviométriques

Un événement pluvieux est décrit dans un fichier texte avec le format suivante :

durée (en minutes) **intensité** (en mm/heure)

Si l'on souhaite définir plusieurs stations pluviométriques, il faut fournir une carte raster de répartition des stations (surfaces concernées).

6.6 La Position de l'Exutoire

Il s'agit de sa position en **ligne-colonne**, et non de ses coordonnées géographiques. Cette position est obtenue à l'aide de la carte raster *project_name.ELEMENT* créée par ANSWERS lors de la première étape.

6.7 Le Système d'Écoulement Souterrain

Trois possibilités sont proposées :

- **aucun** écoulement
- **tout le bassin** est soumis à un écoulement
- **certains sous-bassins** sont soumis à un écoulement. Dans ce cas il faut fournir la carte des sous-bassins concernés.

6.8 Les Paramètres du Réseau Hydrographique

La carte raster du réseau hydrographique peut comprendre plusieurs catégories de canaux. Pour chacun d'eux il faut définir sa **largeur** et sa **rugosité** (coefficient N de Manning).

6.9 La Carte des Pentes des Canaux

Deux possibilités :

- pentes **identiques** à celles du sol
- pentes **spécifiques** : il faut fournir une carte des pentes en *dixième de pour-cent*.

6.10 La Carte des Aménagements

Cinq possibilités sont offertes :

- **aucun**
- **jardins en terrasse à l'exutoire**
- **bassins de sédimentation**
- **canaux enherbés**
- **champs bordés de 'diguettes'**.

Dans les quatre derniers cas il faut fournir une carte raster localisant ces aménagements.

6.11 Les Résultats de ANSWERS

ANSWERS fournit plusieurs types de résultats :

- un **fichier texte** reprenant les tous les paramètres en entrée et indiquant :
 - la lame ruisselé à l'exutoire
 - la perte moyenne des sols en kg/ha
 - le maximum d'érosion en kg/ha
 - le maximum de déposition en kg/ha
- une **carte de l'érosion**
- une **carte de la déposition**
- une **carte de la déposition dans les canaux**
- **4 graphiques** (obtenus à partir de fichiers texte que l'on peut consulter par ailleurs) :
 - diagramme de la pluie
 - hydrographe à l'exutoire
 - accumulation des sédiments
 - concentration des sédiments

7. Application de GRASS-ANSWERS au bassin versant de Ndiba

7.1 Présentation

La plupart du temps, le manque d'eau constitue le plus grand problème pour l'agriculture traditionnelle du Sahel. En raison des amplitudes extrêmes des précipitations et de la complexité des facteurs de ruissellement, on ne dispose souvent pas d'assez d'eau pour la culture pluviale. Lorsqu'il est possible de réduire ce déficit, l'approvisionnement en céréales de la population, qui vit souvent dans une économie de subsistance, peut être considérablement amélioré.

L'irrigation par ruissellement, c'est à dire l'irrigation utilisant l'eau des précipitations sans stockage intermédiaire, permet une meilleure utilisation du ruissellement de surface. Grâce à de petites digues en terre et à des fossés, les précipitations efficaces qui proviennent d'un petit bassin versant (< 1000 ha) sont dirigées vers les terrains cultivés situés à proximité et délimités par ces diguettes. Elles contribuent donc à augmenter l'humidité du sol par infiltration. Durant la période sèche qui succède à une averse, les plantes s'alimentent exclusivement à partir de l'eau en rétention dans le sol. Dans le cas de sols profonds et lourds, les plantes peuvent ainsi résister à des périodes sèches prolongées en conservant le même rendement.

Du fait de sa simplicité, ce type d'irrigation pratiqué depuis des milliers d'années dans les zones semi-arides présente de nombreux avantages : faible coût, construction et entretien sans problèmes, pas d'intervention négative sur l'écosystème, lutte contre l'érosion, alimentation de la nappe phréatique, ...

Les études actuelles, menées par différents organismes de recherche, ont pour objectif de mieux connaître le ruissellement (débit de crue, fonction de production d'un bassin versant,...) afin de déterminer les surfaces potentielles aptes à ce type d'irrigation. Si les études de terrain sur des bassins versants expérimentaux ont permis la mise en place de plusieurs modèles de fonctionnement, le passage à de grandes surfaces se heurte au manque d'information cartographiques sur ces régions.

D'où le recours depuis quelques années à l'utilisation de la télédétection et des SIG. Dans ce genre de situation où l'information récente fait défaut, l'intérêt de ces nouveaux outils est d'en apporter sur :

- les plans d'eau : localisation, surface, forme des cuvettes (sujettes à une forte évaporation), ...
- les inondations : suivi des crues, dégâts, zones inondables, ...
- les débits des bassins versants selon l'état de surface (pente, végétation, croûte, ...).

Les données provenant des études de bassins expérimentaux permettent de tester les différentes hypothèses.

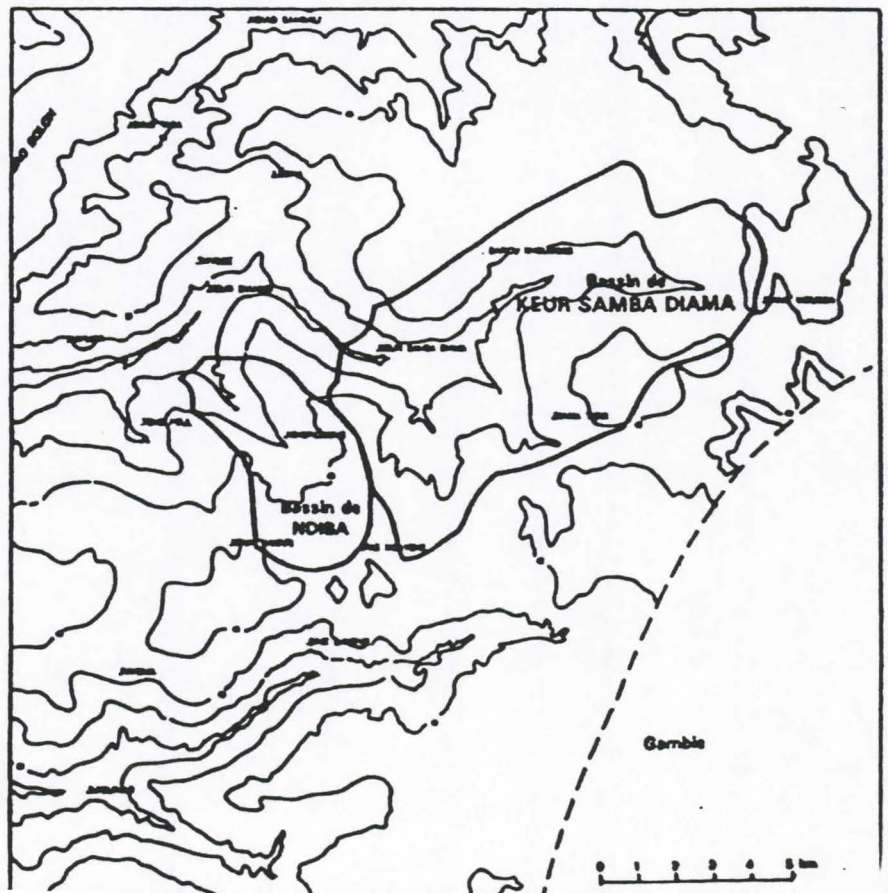
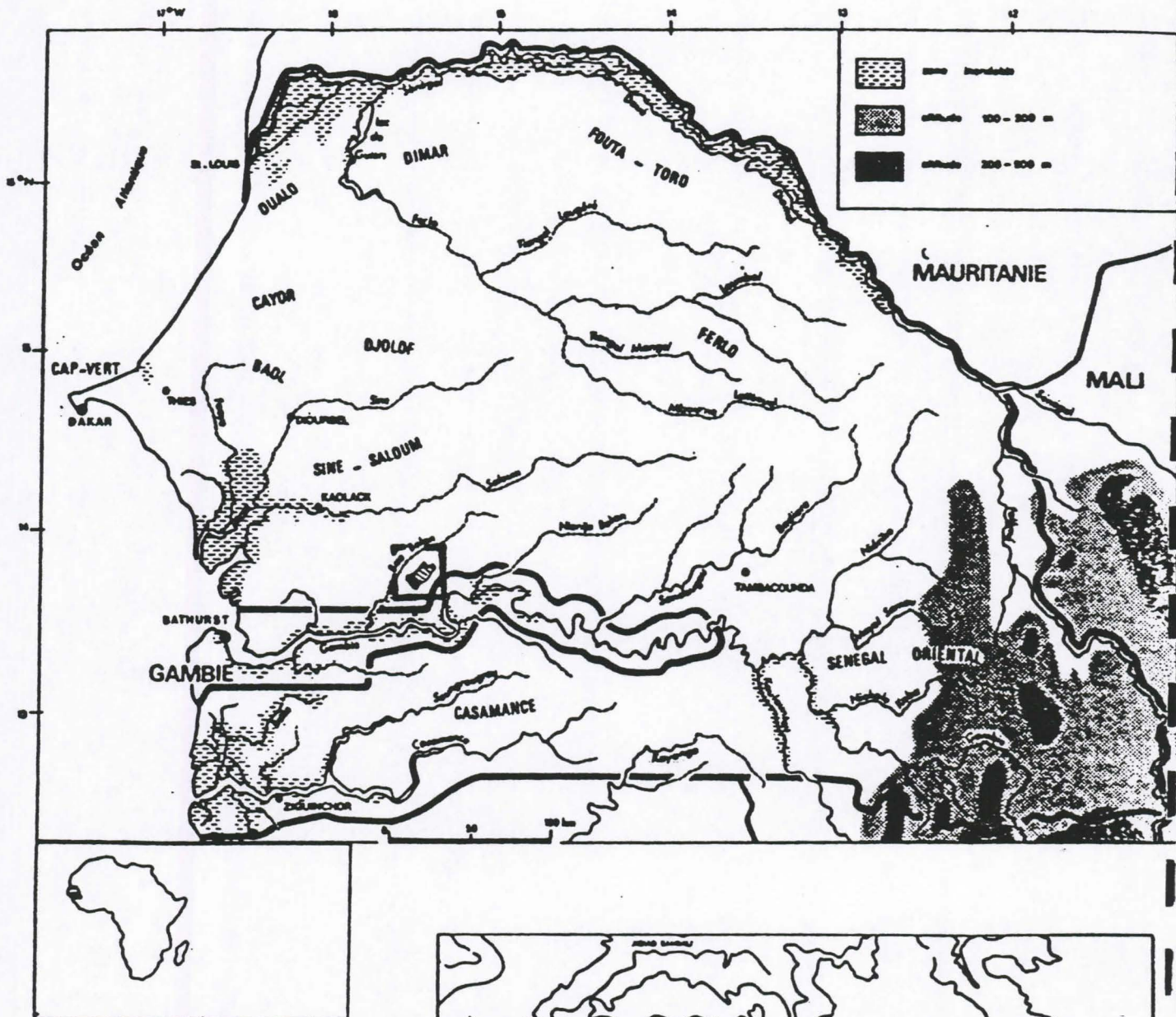
C'est dans cette quête de connaissances que se situe cette étude : que peuvent apporter GRASS et ANSWERS ? (*remarque* : seul l'aspect 'ruissellement' sera abordé dans ce travail).

Le bassin versant de **Ndiba** se situe dans la communauté rurale de Kaymor, dans le département de Nioro du Rip (ancienne région du Siné Saloum), à quelques kilomètres de la frontière Nord entre le Sénégal et la Gambie. Il se situe sur les branches du marigot de Djiguimar, affluent rive gauche du Grand Bâo Bolon.

La suite de ce chapitre décrit les différentes opérations techniques et les '*limites*' rencontrées.

NB : page suivante, *cartes de situation du bassin versant de Ndiba*

Situation des bassins versants de Ndiba et de Keur Samba Diama



Carte de situation des bassins versants de Thyssé Kaymor au 1/200000



7.2 Les Données Cartographiques

Il s'agit de rassembler toutes les cartes nécessaires au modèle hydrologique ANSWERS. Une partie fut héritée des travaux précédents, une autre fut digitalisée par l'équipe de l'Espace Cartographie du CIRAD, et le reste fut calculé par GRASS.

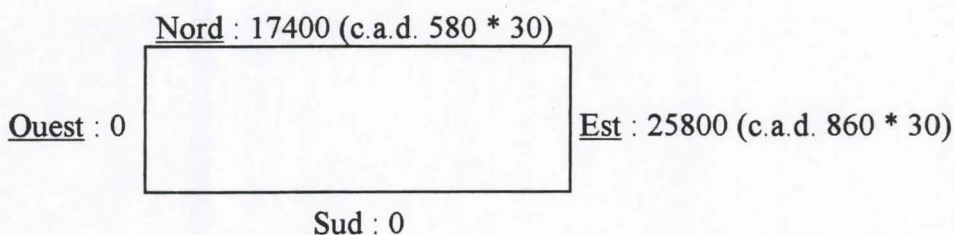
7.2.1 Les Cartes des Sols et de l'Occupation des Sols

Ce sont deux cartes raster extraites d'une image satellite LANDSAT-TM (n° 5/204/051 du 28/11/1990), utilisées par Christophe Castanier [CASTANIER 93] lors de ses travaux sur la caractérisation des états de surface par télédétection.

Les classifications d'image avaient été réalisées sur un mode dirigé (classification *supervisée*) en utilisant les mesures de terrain (méthode d'échantillonnage dite des '*transects*') et par la méthode du maximum de vraisemblance sous hypothèse Gaussienne. Les résultats avaient permis de déterminer 3 classes de sol (sables, sables et limons, limons) et 5 classes d'occupation du sol par la végétation (0 à 2, 2 à 5, 5 à 15, 15 à 40, 40 à 100 %).

Remarque : la carte de l'occupation du sol a été reclassée (commande **r.reclass**) afin d'obtenir uniquement 3 classes correspondant à 'culture' (0 à 5%), 'brousse' (5 à 40%) et 'forêt' (40 à 100 %).

Ces cartes étaient gérées par le logiciel **IDRISI**, qui en a produit deux copies au format raster GRASS. Premiers éléments de cette étude, j'ai pu créer une '*location*' (voir annexe 2 pour plus de détails sur ce terme) dans un système de coordonnées cartésien (x,y). Leurs tailles (580 lignes, 860 colonnes) et leurs résolutions (30 mètres) m'ont permis d'établir les limites de la *région* :

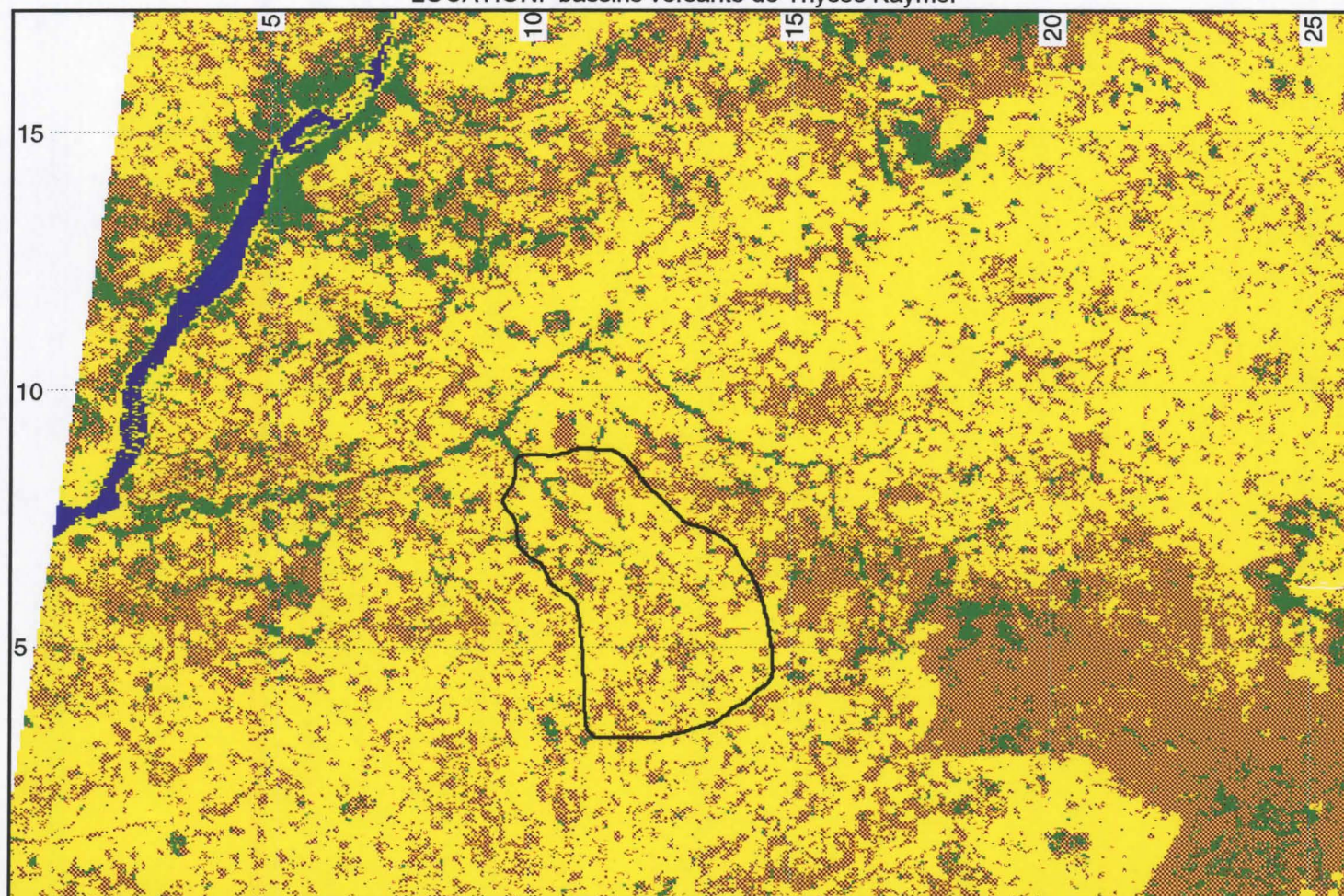


Commentaires : IDRISI ne fournit que 2 fichiers parmi ceux composant une carte raster. Aussi il faut utiliser la commande **r.support** pour créer ceux manquant.

De plus il n'y a pas de corrélation entre les attributs définis sous IDRISI et ceux pour GRASS. Il faut alors utiliser la commande **r.report** sur chacune des cartes pour connaître la répartition des différentes catégories et, après comparaison, leur affecter les descriptions correspondantes à l'aide de la commande **r.support**.

NB : page suivante : *carte de l'occupation des sols + limites observées du bassin versant*
tableau statistique sur la carte de l'occupation des sols
carte des sols
tableau statistique sur la carte des sols

TITLE: carte de l'utilisation des sols
LOCATION: bassins versants de Thysse Kaymor



SCALE: 1 : 135433
GRID: 5000 units
17400
REGION: 0 25800
0

- ☐ no data
- ☐ culture
- ☐ brousse
- ☐ foret
- ☐ eau

RASTER MAP CATEGORY REPORT

LOCATION: kaymor

Fri Sep 15 11:09:25 1995

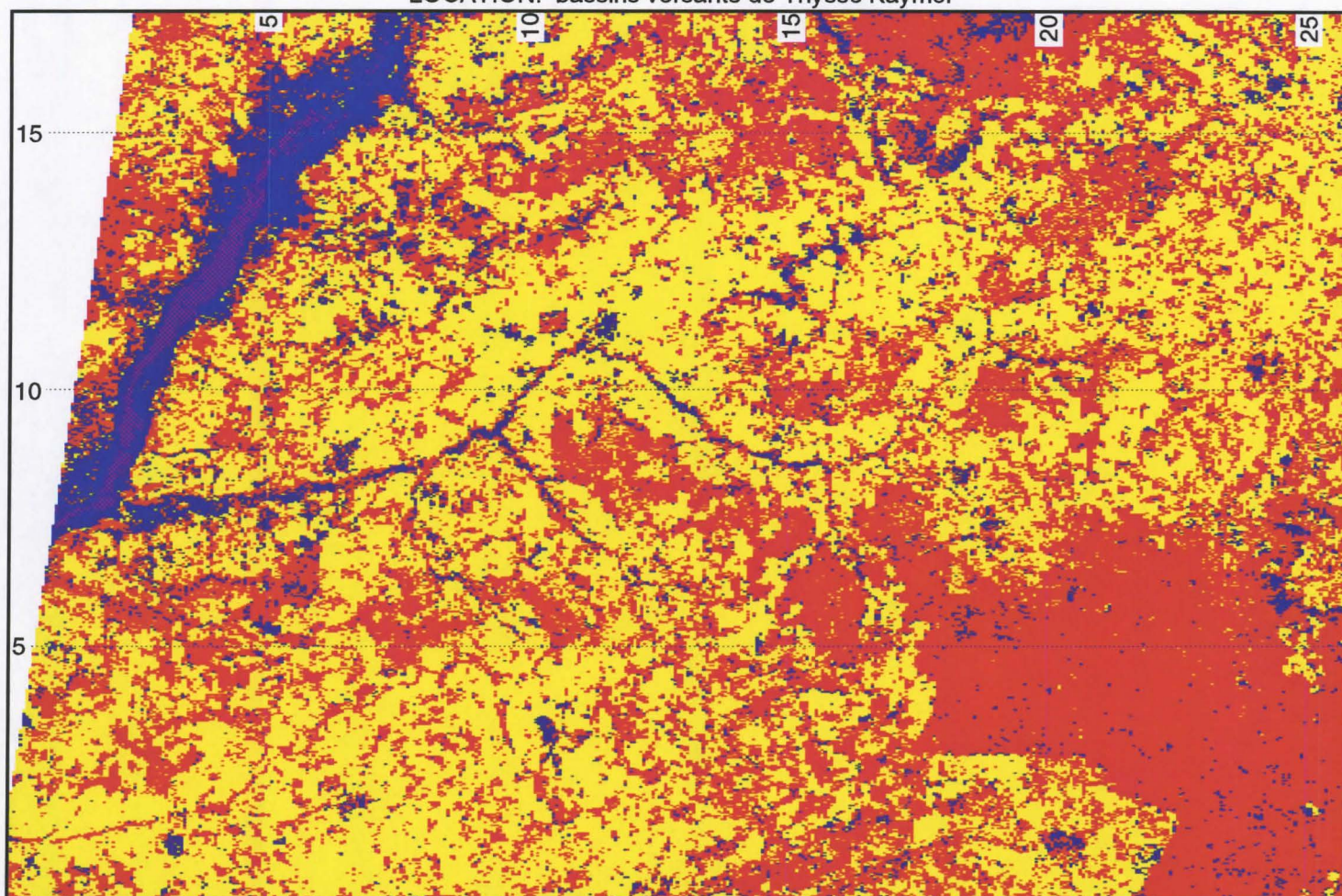
REGION north: 17400 east: 25800
south: 0 west: 0
res: 30 res: 30

MASK:none


MAP: carte de l'utilisation des sols (veg.rec in PERMANENT)

Category Information		hectares	cell count	% cover
#	description			
0	no data.	1861.470	20683	4.15
1	culture.	25,157.520	279528	56.04
2	brousse.	14,906.070	165623	33.20
3	foret.	2571.210	28569	5.73
4	eau.	395.730	4397	0.88
TOTAL		44,892.000	498800	100.00

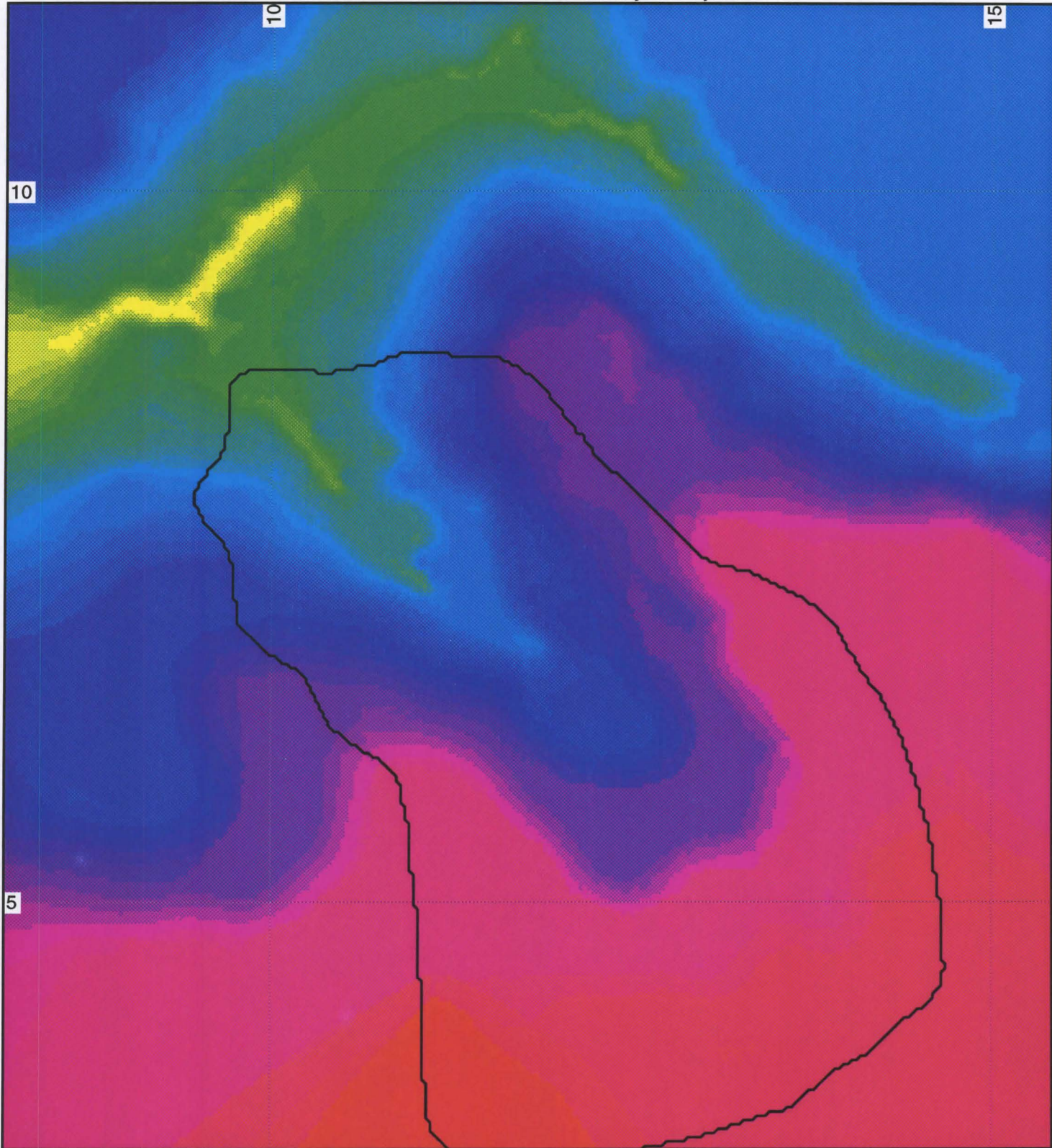
LOCATION: bassins versants de Thyse Kaymor



REGION: 0 17400 25800
0

-  no data
 sables
 limons
 sables et limons
 eau

TITLE: Modele Numerique de Terrain (en metres)
LOCATION: bassins versants de Thysse Kaymor



SCALE: 1 : 38268
GRID: 5000 units
REGION: 8142 11323.5 15432 3253.5

RASTER MAP CATEGORY REPORT

LOCATION: kaymor

Fri Sep 15 11:05:54 1995

REGION north: 17400 east: 25800
south: 0 west: 0
res: 30 res: 30

MASK:none

MAP: types de sols (composition granulometrique) (sol in PERMANENT)

Category Information		hectares	cell count	% cover
#	description			
0	no data.	1861.470	20683	4.15
1	sables	21,018.510	233539	46.82
2	limons	3881.160	43124	8.65
3	sables et limons	17,844.120	198268	39.75
4	eau.	286.740	3186	0.64
TOTAL		44,892.000	498800	100.00

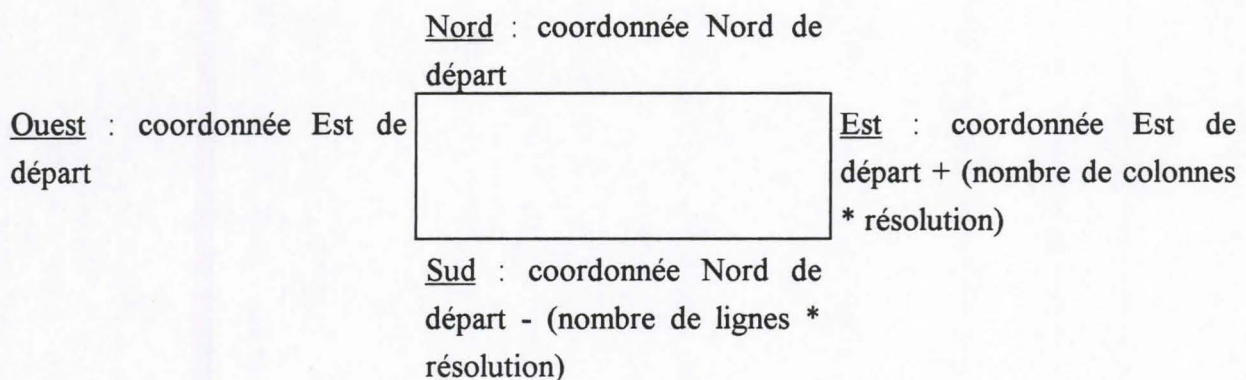
7.2.2 Les Cartes Digitalisées

A partir de documents 'papier', l'Espace Cartographie a digitalisé 3 cartes à l'aide du logiciel **ROOTS** :

- les courbes de niveaux
- les limites observées du bassin versant
- le réseau hydrographique observé.

Ces trois cartes ont pu être 'calées' par rapport à mon système de coordonnées en utilisant 2 points, puis rapatriés sous **ARC-INFO**. La carte des courbes de niveaux a permis de créer un modèle numérique de terrain (MNT). Ces trois cartes ont été ensuite exportées au format **ERDAS** pour des raisons de simplicité.

Pour les intégrer dans GRASS, il faut utiliser la commande **r.in.erdas** en prenant soin de noter leurs caractéristiques : nombre de lignes et de colonnes, résolution et coordonnées de départ (Est et Nord). Avec la commande **r.support** on peut les incorporer au système de coordonnées en cours. Les coordonnées de départ correspondent à l'intersection des limites Nord et Ouest pour GRASS :



Commentaires : les cartes issues de l'image satellite ne possédaient pas de points de repères 'sûrs'. C'est par une démarche empirique que j'ai pu fournir ces 2 points de calage. Pour plus de précision il en aurait fallu au moins 3.

Le document 'papier' concernant les courbes de niveaux manquait de précision quant au nombre de points disponibles. Il s'en suit que le MNT créé par interpolation n'est pas d'une fidélité remarquable.

De plus le MNT était exprimé en décimètre. Or GRASS travaillant en mètre et uniquement avec des nombres entiers, il faut reclasser la carte (commande **r.reclass**). Cette opération va malheureusement influencer la suite des travaux : le dénivelé étant déjà très faible (40 mètres), cette reclassification va faire apparaître une succession de 'plateaux'.

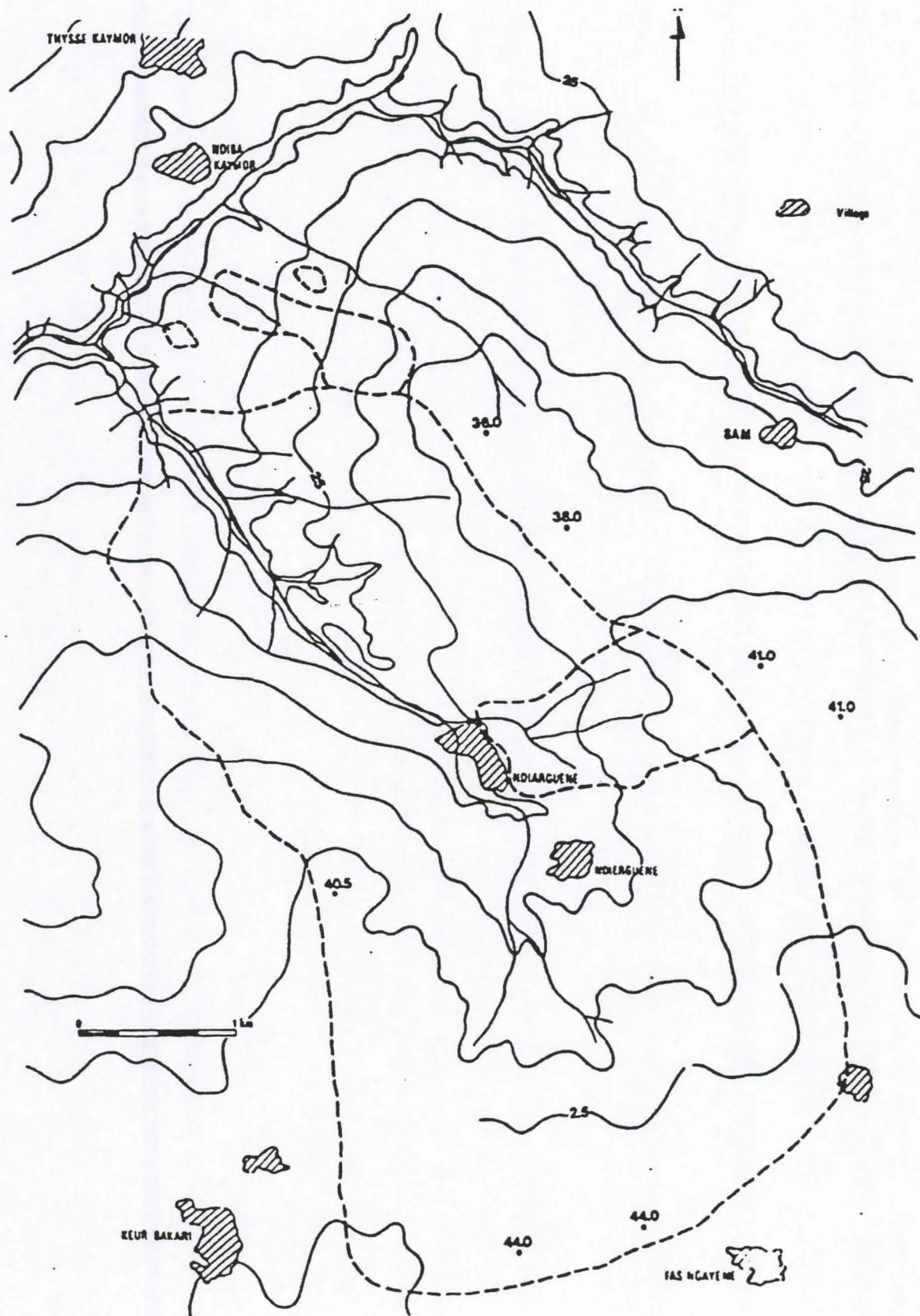
Remarque : une nouvelle version de GRASS (disponible depuis le mois d'Août) autorise enfin à travailler avec des nombres décimaux !

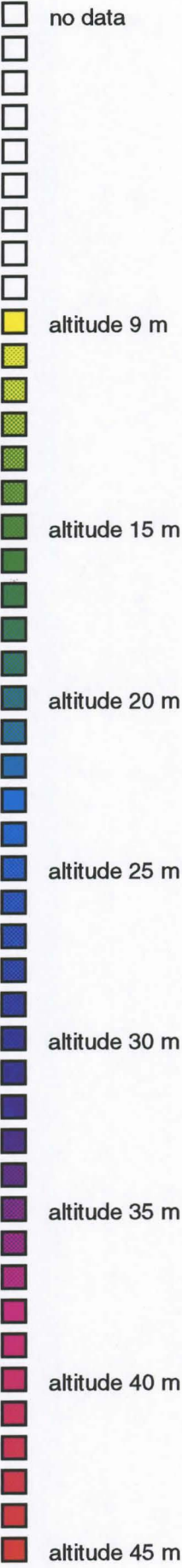
NB : page suivante : *document 'papier' d'origine*

modèle numérique de terrain + limites observées du bassin versant

tableau statistique sur le modèle numérique de terrain

Carte topographique du bassin versant de Ndiba
(extrait de [ALBERGEL et al 91])





RASTER MAP CATEGORY REPORT

LOCATION: kaymor

Fri Sep 15 11:54:11 1995

REGION north: 11323.5 east: 15432
south: 3253.5 west: 8142
res: 30 res: 30

MASK:none

MAP: Modele Numerique de Terrain (en metres) (mnt.rec in damien)

Category Information		hectares	cell count	% cover
#	description			
9	altitude 9 m	15.75000	175	0.27
10	. . . . .	22.86000	254	0.39
11	. . . . .	17.28000	192	0.29
12	. . . . .	13.68000	152	0.23
13	. . . . .	14.85000	165	0.25
14	. . . . .	39.60000	440	0.67
15	altitude 15 m.	167.40000	1860	2.85
16	. . . . .	80.28000	892	1.36
17	. . . . .	74.52000	828	1.27
18	. . . . .	74.16000	824	1.26
19	. . . . .	88.56000	984	1.51
20	altitude 20 m.	269.28000	2992	4.58
21	. . . . .	110.70000	1230	1.88
22	. . . . .	105.75000	1175	1.80
23	. . . . .	108.09000	1201	1.84
24	. . . . .	121.41000	1349	2.06
25	altitude 25 m.	678.24000	7536	11.53
26	. . . . .	95.94000	1066	1.63
27	. . . . .	99.99000	1111	1.70
28	. . . . .	97.65000	1085	1.66
29	. . . . .	105.57000	1173	1.79
30	altitude 30 m.	432.36000	4804	7.35
31	. . . . .	120.15000	1335	2.04
32	. . . . .	115.56000	1284	1.96
33	. . . . .	109.44000	1216	1.86
34	. . . . .	104.67000	1163	1.78
35	altitude 35 m.	412.74000	4586	7.02
36	. . . . .	112.14000	1246	1.91
37	. . . . .	97.47000	1083	1.66
38	. . . . .	94.86000	1054	1.61
39	. . . . .	63.45000	705	1.08
40	altitude 40 m.	968.49000	10761	16.46
41	. . . . .	94.32000	1048	1.60
42	. . . . .	573.12000	6368	9.74
43	. . . . .	55.71000	619	0.95
44	. . . . .	0.54000	6	0.01
45	altitude 45 m.	126.45000	1405	2.15
TOTAL		5883.03000	65367	100.00

7.2.3 Les Cartes créées par GRASS

La carte des pentes est obtenue à partir du MNT en utilisant la commande **r.slope.aspect** et en choisissant comme unité le 'pour-cent'. Comme ANSWERS travaille en dixième de pour-cent, il faut réaliser la manipulation suivante :

- lancer **r.mapcalc**

- $\text{fichier_resultat} = \text{fichier_pente} * 10$ (crée une carte raster à partir du fichier pente en multipliant toutes les catégories par 10)

Les cartes des bassins versants, du réseau hydrographique et des orientations sont calculées à partir du MNT grâce à la commande **r.watershed**.

La carte des orientations issue de **r.watershed** comprend 8 classes :

3	2	1
4	⊗	8
5	6	7

et ANSWERS veut des orientations codées ainsi :

135	90	45
180	⊗	360
225	270	315

La conversion s'effectue avec **r.mapcalc** : $\text{fichier_resultat} = \text{fichier_orientations} * 45$ (crée une carte raster à partir du fichier orientations en multipliant toutes les catégories par 45).

R.watershed permet entre autres de choisir la taille minimale d'un bassin versant (20 ha dans notre cas). Ainsi la carte des bassins versants est composée de plusieurs sous-bassins correspondant à chaque affluent du réseau hydrographique. L'assemblage de ces sous-bassins en un bassin 'unique' ne peut être réalisé de façon automatique. Une première méthode simple et fastidieuse consisterait à afficher la carte des bassins versants (commande **d.rast**), puis de sélectionner les sous-bassins concernés (commande **d.what.rast**, et noter chaque numéro de sous-bassin), et de reclasser la carte (commande **r.reclass**). Habitué aux raisonnements informatiques, j'ai réalisé un petit programme d'assemblage automatique en utilisant les fonctions de la commande **r.mapcalc**, dont voici les étapes :

- chaque cellule du réseau hydrographique possède un numéro correspondant à celui du sous-bassin. Avec **r.mapcalc**, on crée une carte avec 2 catégories (0=no data, 1=réseau) en utilisant la fonction : $\text{fichier_resultat} = \text{if}(\text{réseau_hydro})$ (crée une carte raster à partir du fichier réseau_hydro avec comme condition : si une cellule fait partie du réseau hydrographique, on lui affecte la valeur 1, sinon la valeur 0).

- il faut séparer la portion de réseau concernant notre bassin versant : affichage de cette nouvelle carte (commande **d.rast**), superposition des limites du bassin versant observé (extraites avec la commande **r.poly** qui crée un fichier vecteur) avec la commande **d.vect fichier_limites color=black**. La commande **d.rast.edit** permet de zoomer sur la zone de l'exutoire, et de modifier les valeurs des cellules (les mettre à zéro) en aval de l'exutoire. *Remarque* : après un zoom, il faut quitter d.rast.edit, réafficher les limites du bassin et relancer d.rast.edit.
- maintenant il faut attribuer un numéro à chaque sous-réseau en utilisant la commande **r.clump**. Mais auparavant il faut 'grossir' ce réseau (commande **r.grow**) car r.clump affecterait un numéro à chaque cellule !
- lancer le programme d'assemblage. En fait il s'agit d'un 'script' (langage propre au système d'exploitation) incluant des commandes de **r.mapcalc**. L'idée de base est la suivante : à partir de ce nouveau réseau hydrographique, il faut remplir toutes les cellules non renseignées en utilisant un *effet de voisinage*. Si une cellule non renseignée est contiguë à une cellule renseignée (carte réseau) et qu'elle appartient au même sous-bassin (carte des bassins versants), alors on lui affecte le numéro du sous-réseau hydrographique. *Remarque* : cela peut paraître 'alambiqué', mais la manipulation est facile, rapide et reproductible !

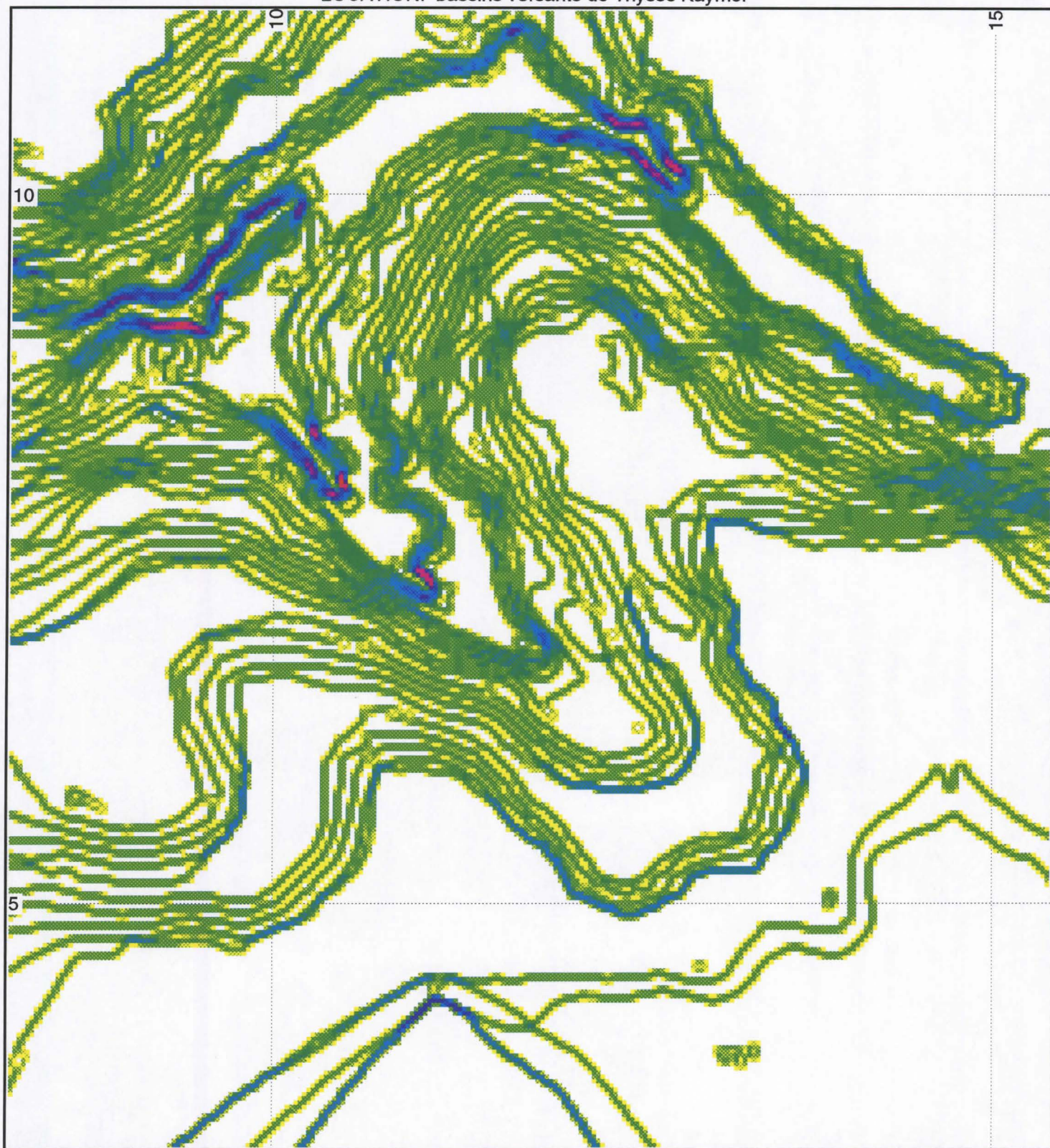
Pour créer la carte servant de 'masque', il suffit d'afficher la nouvelle carte des bassins versants (commande **d.rast**), de noter le numéro du bassin (commande **d.what.rast**), puis de lancer la commande **r.mapcalc** : *fichier_résultat = if(carte_bassin == numéro_bassin)* (crée une carte raster à partir du fichier carte_bassin avec comme condition : si le numéro de bassin de la cellule égal numéro_bassin, on lui affecte la valeur 1, sinon la valeur 0).

Commentaires : en superposant d'une part le réseau hydrographique calculé et celui observé, et d'autre part les limites du bassin versant calculé et celles observées, on se rend compte d'une certaine 'imprécision' ! N'oublions pas qu'au départ le MNT (à la base des calculs de réseau et de bassin) était lui-même imprécis (manque de points), et avait été reclassé (passage des décimètres aux mètres). De plus le Sud du bassin versant de Ndiba est une zone à tendance endoréique et sans réseau hiérarchisé (je ne savais pas comment faire prendre en compte ce paramètre à r.watershed, et à lire le 'courrier' à ce sujet je ne crois pas qu'il existe une solution simple et satisfaisante actuellement).

Quant à la forme du réseau hydrographique calculé (aspect 'chevelu'), elle dépend aussi de la méthode de calcul : les orientations ayant un intervalle de 45°, on ne peut obtenir un tracé 'fluide'. Les différents SIG actuels ont de toute façon du mal à 'travailler' sur des faibles dénivelés (ils ont de meilleurs résultats sur des reliefs plus 'accentués').

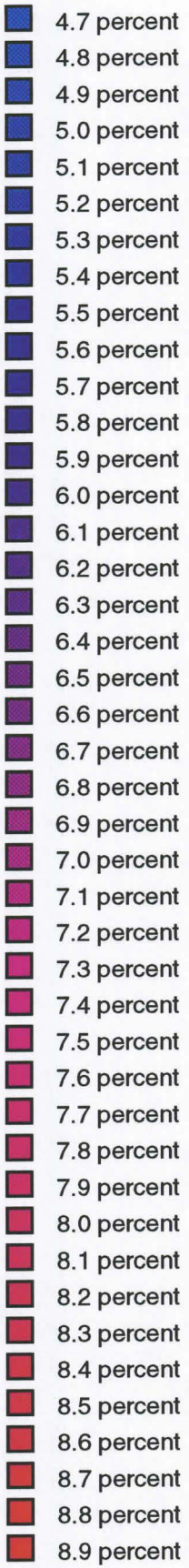
NB : page suivante : *carte des pentes*
tableau statistique sur la carte des pentes
carte des orientations
tableau statistique sur la carte des orientations
carte des bassins versants calculés
carte des bassins versants calculés après assemblage
tableau statistique sur les bassins versants après assemblage
carte des limites du bassin versant calculées et observées
carte des réseaux hydrographiques calculé et observé
'script' d'assemblage

TITLE: carte des pentes
LOCATION: bassins versants de Thyse Kaymor



SCALE: 1 : 38268
GRID: 5000 units
REGION: 8142 11323.5 15432 3253.5





RASTER MAP CATEGORY REPORT

LOCATION: kaymor

Fri Sep 15 15:14:07 1995

REGION north: 11323.5 east: 15432
south: 3253.5 west: 8142
res: 30 res: 30

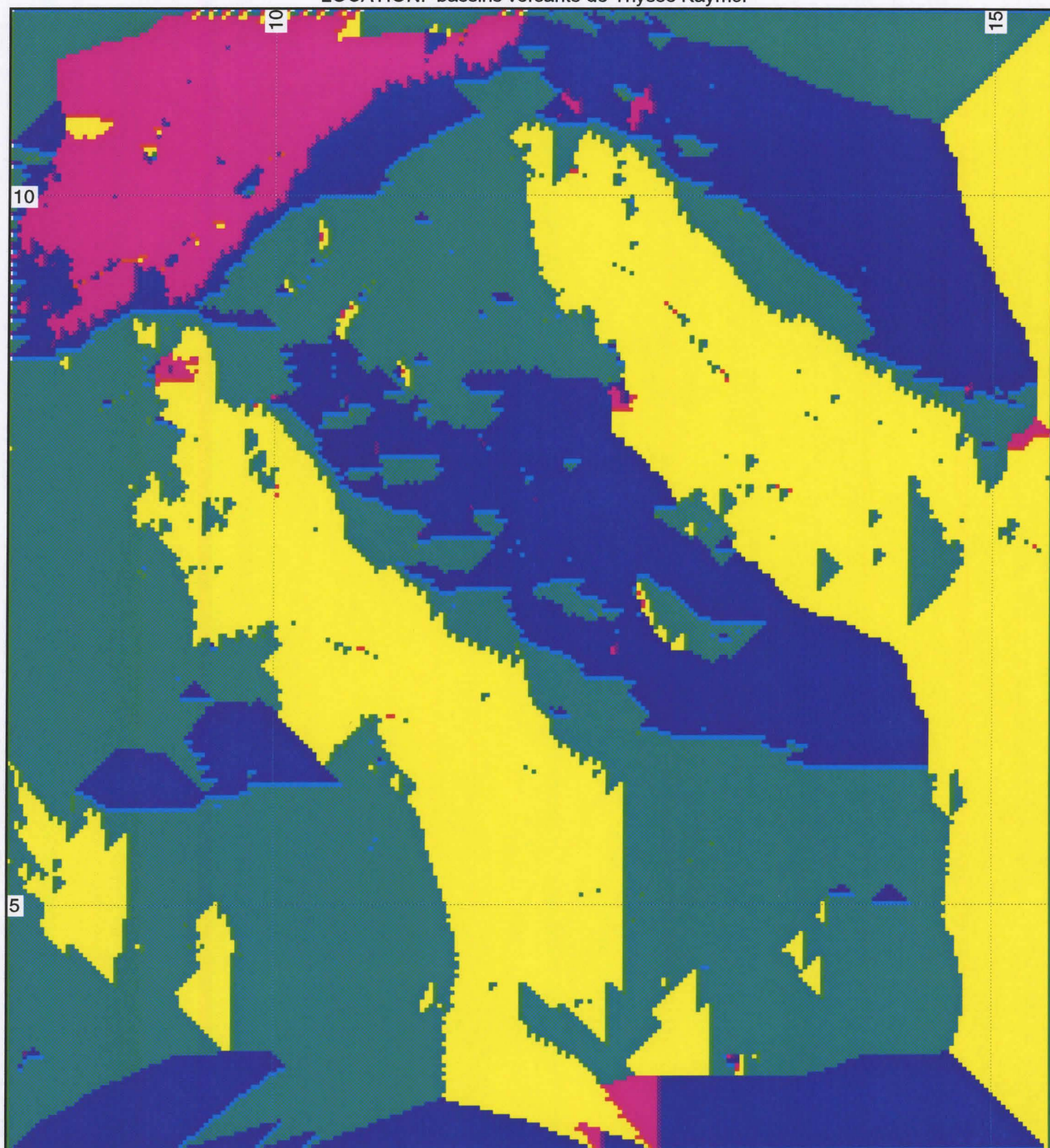
MASK:none

MAP: carte des pentes (slope in damien)

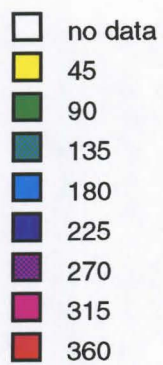
Category Information		hectares	cell count	% cover
#	description			
0	.	3284.82000	36498	55.84
5	0.5 percent.	419.67000	4663	7.13
8	0.8 percent.	52.38000	582	0.89
11	1.1 percent.	116.46000	1294	1.98
13	1.3 percent.	365.85000	4065	6.22
16	1.6 percent.	439.92000	4888	7.48
17	1.7 percent.	257.13000	2857	4.37
18	1.8 percent.	458.28000	5092	7.79
21	2.1 percent.	46.35000	515	0.79
23	2.3 percent.	67.86000	754	1.15
24	2.4 percent.	61.83000	687	1.05
25	2.5 percent.	4.23000	47	0.07
26	2.6 percent.	38.16000	424	0.65
29	2.9 percent.	47.16000	524	0.80
30	3.0 percent.	32.40000	360	0.55
31	3.1 percent.	19.98000	222	0.34
33	3.3 percent.	36.09000	401	0.61
34	3.4 percent.	7.65000	85	0.13
35	3.5 percent.	29.52000	328	0.50
37	3.7 percent.	31.23000	347	0.53
39	3.9 percent.	3.69000	41	0.06
41	4.1 percent.	9.72000	108	0.17
42	4.2 percent.	4.86000	54	0.08
44	4.4 percent.	4.14000	46	0.07
46	4.6 percent.	2.61000	29	0.04
47	4.7 percent.	9.63000	107	0.16
48	4.8 percent.	0.81000	9	0.01
50	5.0 percent.	6.03000	67	0.10
52	5.2 percent.	2.97000	33	0.05
53	5.3 percent.	2.70000	30	0.05
54	5.4 percent.	3.06000	34	0.05
55	5.5 percent.	2.34000	26	0.04
58	5.8 percent.	0.81000	9	0.01
59	5.9 percent.	0.90000	10	0.02
60	6.0 percent.	2.16000	24	0.04
61	6.1 percent.	0.81000	9	0.01
62	6.2 percent.	0.18000	2	0.00
63	6.3 percent.	1.17000	13	0.02
64	6.4 percent.	1.17000	13	0.02
65	6.5 percent.	0.99000	11	0.02
66	6.6 percent.	0.27000	3	0.00
67	6.7 percent.	0.36000	4	0.01
68	6.8 percent.	0.72000	8	0.01
70	7.0 percent.	0.45000	5	0.01
71	7.1 percent.	0.27000	3	0.00
72	7.2 percent.	0.09000	1	0.00
74	7.4 percent.	0.18000	2	0.00
75	7.5 percent.	0.27000	3	0.00
76	7.6 percent.	0.90000	10	0.02

77	7.7 percent.	0.54000	6	0.01
78	7.8 percent.	0.09000	1	0.00
79	7.9 percent.	0.36000	4	0.01
80	8.0 percent.	0.36000	4	0.01
82	8.2 percent.	0.18000	2	0.00
83	8.3 percent.	0.18000	2	0.00
89	8.9 percent.	0.09000	1	0.00
TOTAL		5883.03000	65367	100.00

TITLE: carte des orientations (en degre)
LOCATION: bassins versants de Thyse Kaymor



SCALE: 1 : 38268
GRID: 5000 units
11323.5
REGION: 8142 15432
3253.5



RASTER MAP CATEGORY REPORT

LOCATION: kaymor

Fri Sep 15 15:14:28 1995

REGION north: 11323.5 east: 15432
south: 3253.5 west: 8142
res: 30 res: 30

MASK:none

MAP: carte des orientations (en degre) (as20.rec2 in damien)

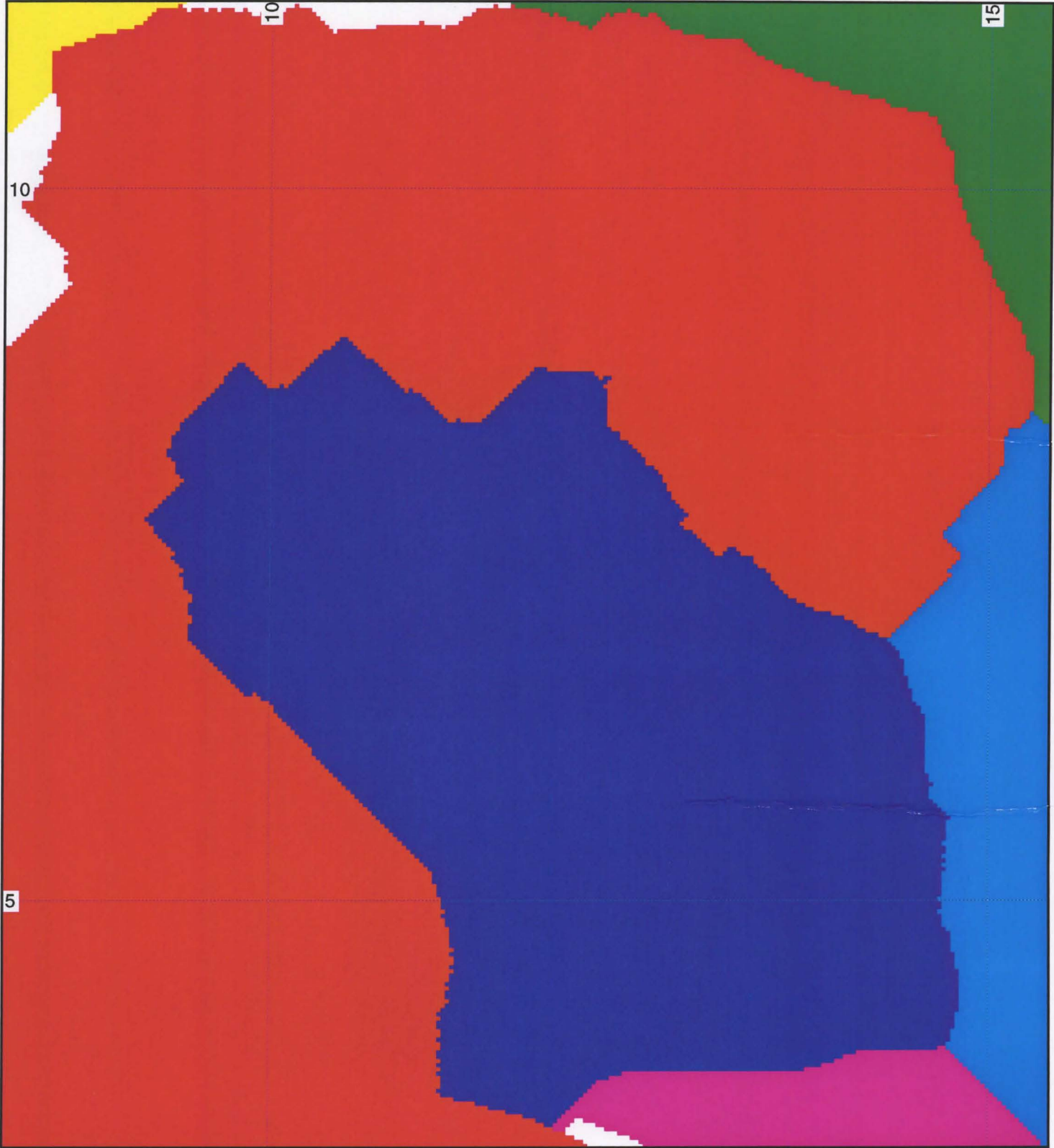
Category Information		hectares	cell count	% cover
#	description			
0	no data.	2.79000	31	0.05
1	45	1694.52000	18828	28.80
2	90	134.64000	1496	2.29
3	135.	2200.23000	24447	37.40
4	180.	129.24000	1436	2.20
5	225.	1315.71000	14619	22.36
6	270.	25.38000	282	0.43
7	315.	368.19000	4091	6.26
8	360.	12.33000	137	0.21
TOTAL		5883.03000	65367	100.00

TITLE: carte des bassins versants calcules par r.watershed
LOCATION: bassins versants de Thyse Kaymor



SCALE: 1 : 38268
GRID: 5000 units
REGION: 8142 11323.5 15432 3253.5

TITLE: carte des bassins versants calcules, apres assemblage
LOCATION: bassins versants de Thyse Kaymor



SCALE: 1 : 38268
GRID: 5000 units
REGION: 11323.5
8142 15432
3253.5

-  no data
-  bassin 1
-  bassin 2
-  bassin 3
-  bassin 4
-  bassin 5
-  bassin 6

RASTER MAP CATEGORY REPORT

LOCATION: kaymor

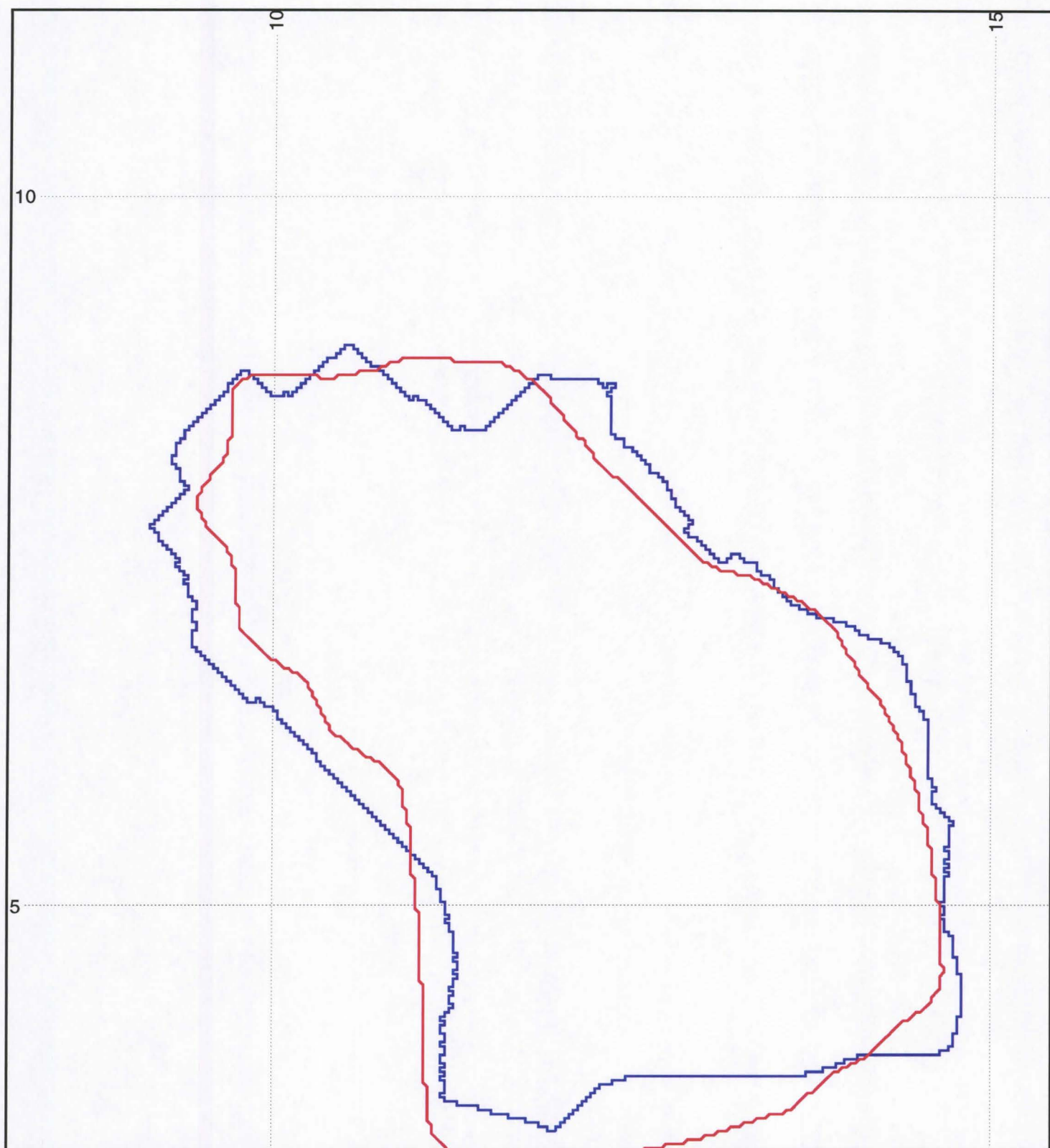
Fri Sep 15 15:24:55 1995

REGION north: 11323.5 east: 15432
south: 3253.5 west: 8142
res: 30 res: 30

MASK:none

MAP: carte des bassins versants calcules, apres assemblage (basin.grp in dami

Category Information		hectares	cell count	% cover
#	description			
0	no data.	83.61000	929	1.42
1	bassin 1	45.45000	505	0.77
2	bassin 2	262.89000	2921	4.47
3	bassin 3	350.64000	3896	5.96
4	bassin 4	1866.87000	20743	31.73
5	bassin 5	168.57000	1873	2.87
6	bassin 6	3105.00000	34500	52.78
TOTAL		5883.03000	65367	100.00

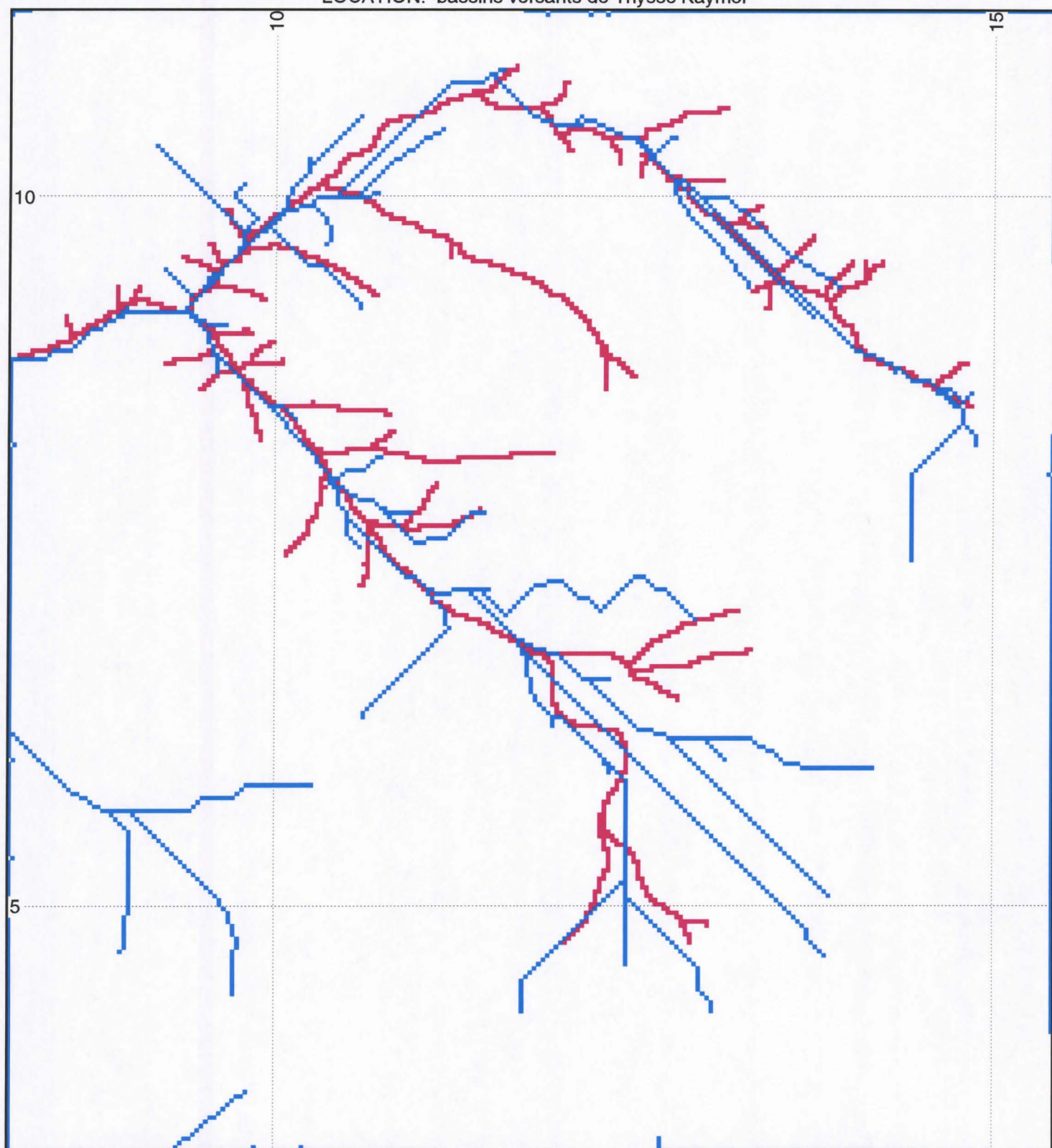


SCALE: 1 : 38268
GRID: 5000 units

REGION: 8142 11323.5 15432 3253.5

— limites_observees (damien)
— limites_calculees (damien)

TITLE: superposition des reseaux hydrographiques calcule et observe
LOCATION: bassins versants de Thyse Kaymor



SCALE: 1 : 38268
GRID: 5000 units
REGION: 8142 11323.5 15432 3253.5

- ☐ no data
- ☐ reseau calcule
- ☐ reseau observe


```

#!/bin/ksh
#
d.rast in
#
nb=1
#
while [ $nb != 150 ]
do
echo "passage $nb !"
nb=`expr $nb + 1`
r.mapcalc << EOF
out = if(in,in, \
  if((in[-1,-1] && (basin == basin[-1,-1])),in[-1,-1], \
  if((in[-1,0] && (basin == basin[-1,0])),in[-1,0], \
  if((in[-1,1] && (basin == basin[-1,1])),in[-1,1], \
  if((in[0,-1] && (basin == basin[0,-1])),in[0,-1], \
  if((in[0,1] && (basin == basin[0,1])),in[0,1], \
  if((in[1,-1] && (basin == basin[1,-1])),in[1,-1], \
  if((in[1,0] && (basin == basin[1,0])),in[1,0], \
  if((in[1,1] && (basin == basin[1,1])),in[1,1])))))))
EOF
#
d.rast out
g.remove rast=in
g.rename rast=out,in
done

```

7.3 Le Paramétrage d'ANSWERS

Après avoir renseigné le nom des cartes utilisées sous ANSWERS, il faut préciser le fonctionnement de notre bassin versant :

- pas d'écoulement souterrain (la nappe phréatique est à plus de 40 mètres, sans résurgences à l'intérieur du bassin)
- un seul type de canal (largeur de 10 mètres, coefficient de Manning N de 0,010)
- pente des canaux identique à celle du sol
- pas d'aménagement sur le terrain.

Pour les paramètres du sol et de l'occupation du sol, certains peuvent être définis de façon **déterministe** et d'autres requièrent une **optimisation** manuelle. Cette optimisation a pour but d'observer leur sensibilité et de caler une crue de type décennal sur le bassin de Ndiba.

Les tableaux suivants décrivent les valeurs des paramètres définis de manière déterministe :

- pour le sol :

	Porosité totale (TP) en %	Capacité de rétention (FP) en %	Vitesse d'infiltration à saturation (FC) en mm/h	Différence entre vitesses maximum et à saturation (A) en mm/h	Humidité antérieure (ASM) en %	Facteur d'érosion du sol (K)
sables	40	48	31	36	70	0,25
limons	47	55	5	15	70	0,25
sables et limons	43	49	11	23	70	0,25
sources	Brouwers 87, Audin 87, Perez 94		Perez 94		à simuler	Wischmeier et al 71, Roose 77

- pour l'occupation du sol :

	Potentiel d'interception de la pluie par la végétation (PIT) en mm	Pourcentage de couverture actuel (PER) en %	Maximum de hauteur de rugosité (HU) en mm	Erosion relative (C)
culture	1	50	30	0,5
brousse	2	70	20	0,1
forêt	3	90	30	0,01
sources	Perez communication personnelle		à simuler	Perez 94 Roose 77

7.4 Analyse de Sensibilité des paramètres ANSWERS

Il a donc fallu réaliser une analyse de sensibilité sur 4 paramètres afin de connaître leur influence respective sur la lame ruisselée à l'exutoire. Ces quatre paramètres sont :

- pour les sols :
 - la profondeur de la zone d'infiltration (DF)
 - l'exposant d'infiltration (P)
- pour l'occupation des sols :
 - le coefficient de rugosité (RC)
 - le coefficient de Manning (N)

Cette analyse a été réalisée en faisant varier indépendamment chacun des paramètres d'une valeur extrême à une autre, et ce pour chaque catégorie de sol (limons, sables, sables et limons) et d'occupation des sols (cultures, brousse, forêt).

La pluie utilisée pour cette analyse présente les caractéristiques suivantes :

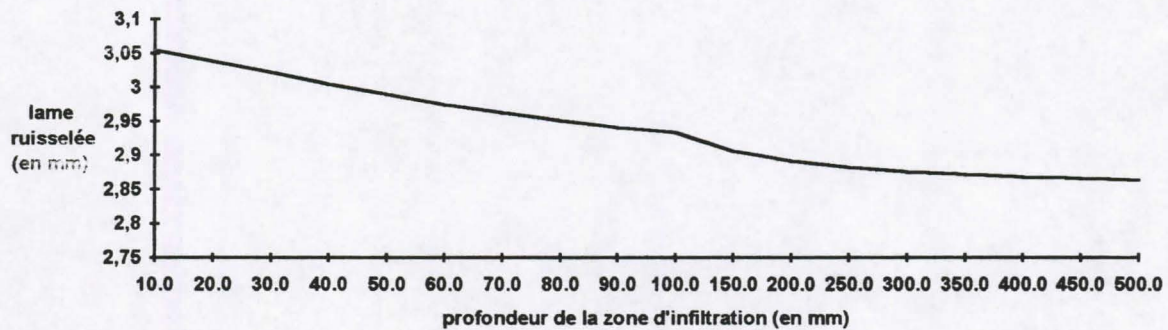
Durée en mn	0	12	24	30	40	50	60	72	84	96	120	300
Intensité en mm/h	0	10	15	18	32	109	33	23	16	14	12	0

7.4.1 Analyse de la Profondeur de la Zone d'Infiltration (DF)

- *pour les limons* :

DF (en mm)	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Lame ruisselée (en mm)	3,062	3,054	3,038	3,021	3,004	2,989	2,974	2,962	2,951	2,941

DF (en mm)	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Lame ruisselée (en mm)	2,933	2,906	2,891	2,882	2,876	2,872	2,868	2,866	2,864

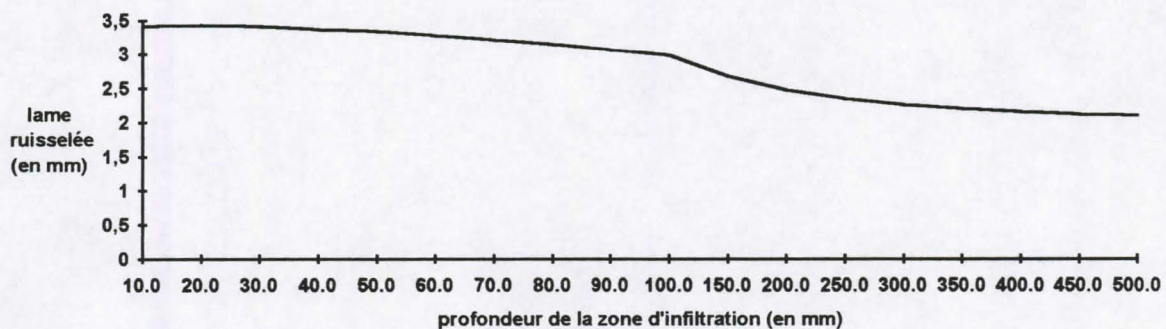


Variation de la lame ruisselée: 6,46 %

• *pour les sables :*

DF (en mm)	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Lame ruisselée (en mm)	3,229	3,415	3,432	3,416	3,368	3,340	3,278	3,213	3,151	3,066

DF (en mm)	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Lame ruisselée (en mm)	2,989	2,677	2,476	2,345	2,258	2,197	2,153	2,120	2,095

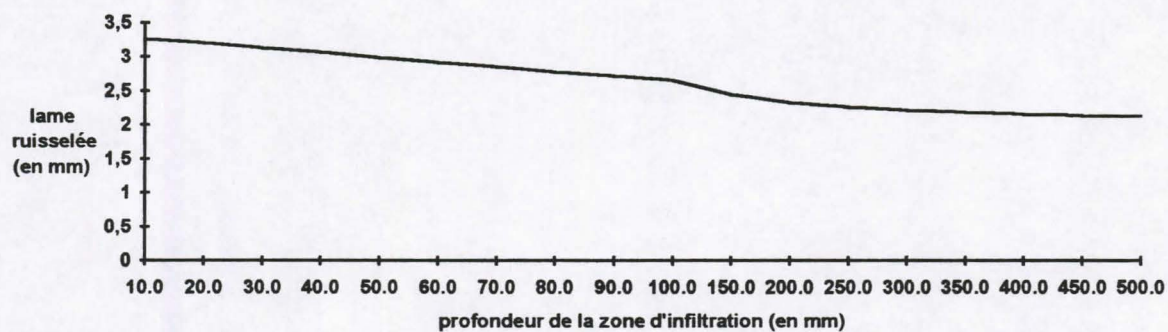


Variation de la lame ruisselée : 38,95 %

• *pour les sables et limons :*

DF (en mm)	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Lame ruisselée (en mm)	3,283	3,258	3,206	3,137	3,065	2,989	2,916	2,844	2,778	2,715

DF (en mm)	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Lame ruisselée (en mm)	2,658	2,442	2,327	2,259	2,215	2,184	2,161	2,144	2,130

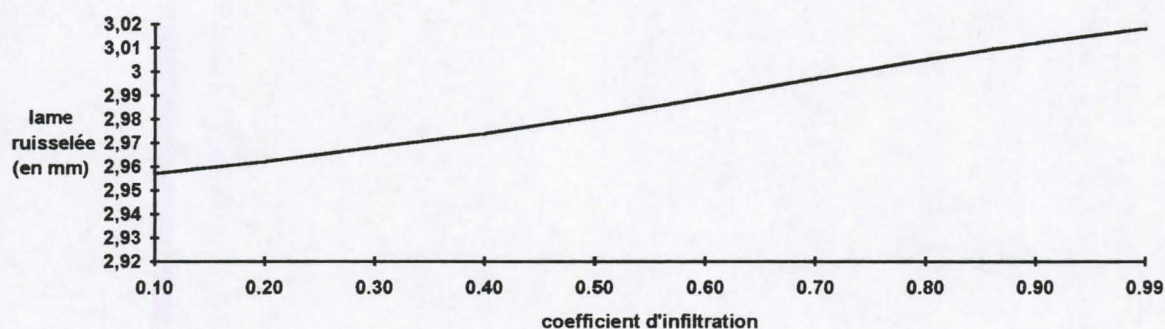


Variation de la lame ruisselée : 35,12 %

7.4.2 Analyse du Coefficient d'Infiltration (P)

- pour les limons :

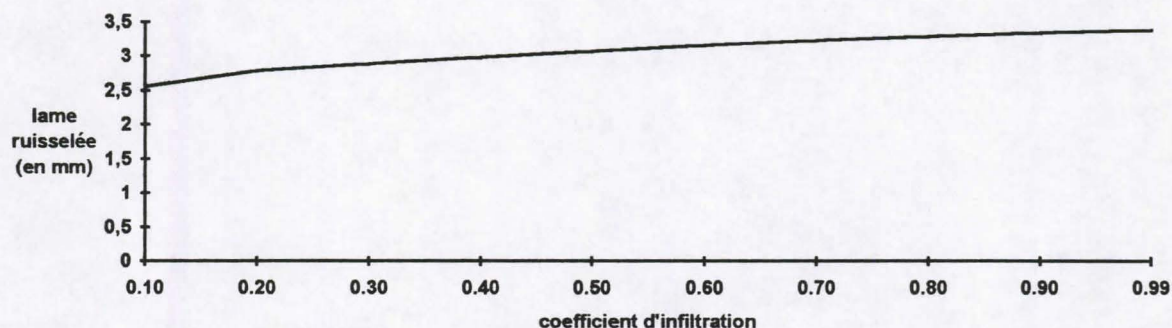
P	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,99
Lame ruisselée (en mm)	2,951	2,957	2,962	2,968	2,974	2,981	2,989	2,997	3,005	3,012	3,018



Variation de la lame ruisselée : 2,22 %

- pour les sables :

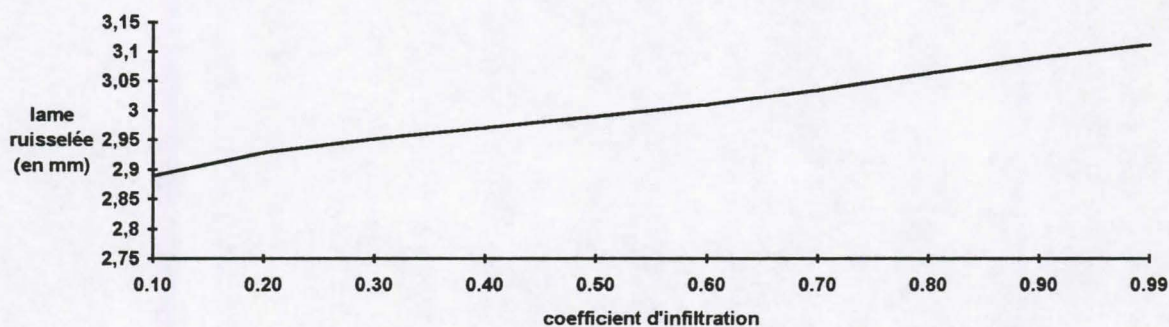
P	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,99
Lame ruisselée (en mm)	2,471	2,558	2,786	2,884	2,989	3,078	3,160	3,235	3,299	3,353	3,392



Surface : 57,2 %. Variation de la lame ruisselée : 27,15 %. Caractéristiques d'infiltration limitantes

- pour les sables et limons :

P	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,99
Lame ruisselée (en mm)	2,891	2,889	2,928	2,951	2,971	2,989	3,010	3,035	3,063	3,090	3,112

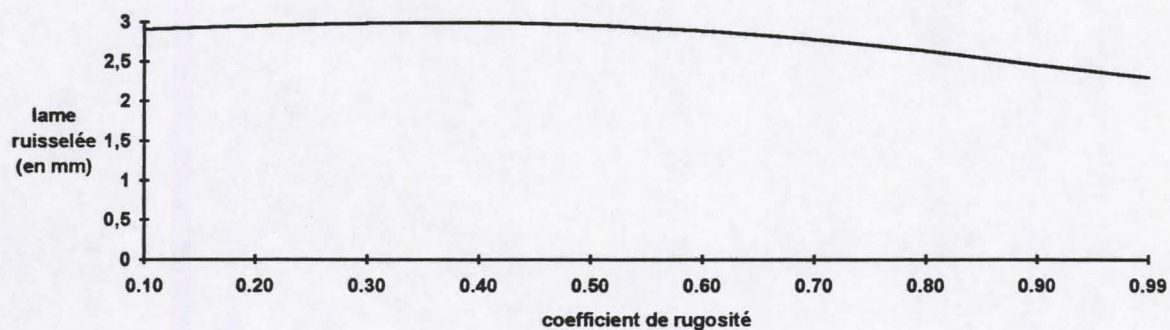


Variation de la lame ruisselée : 7,16 %

7.4.3 Analyse du Coefficient de Rugosité (RC)

- pour les cultures :

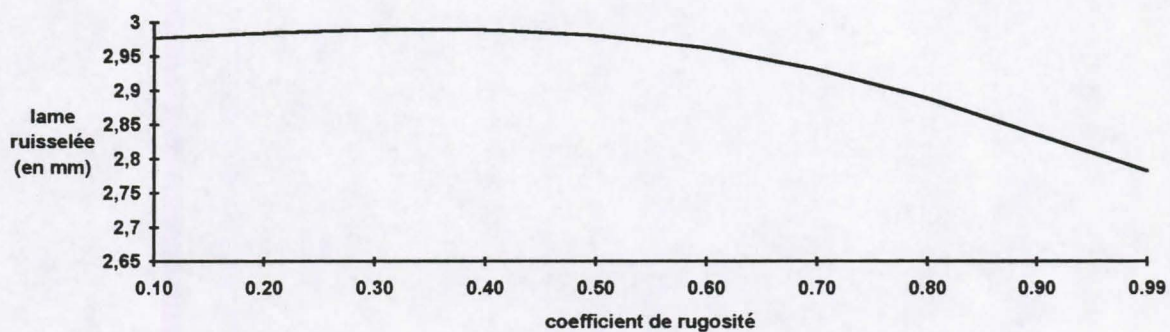
RC	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,99
Lame ruisselée (en mm)	2,848	2,901	2,948	2,980	2,989	2,961	2,889	2,775	2,632	2,465	2,303



Variation de la lame ruisselée : 22,95 %

• pour la brousse :

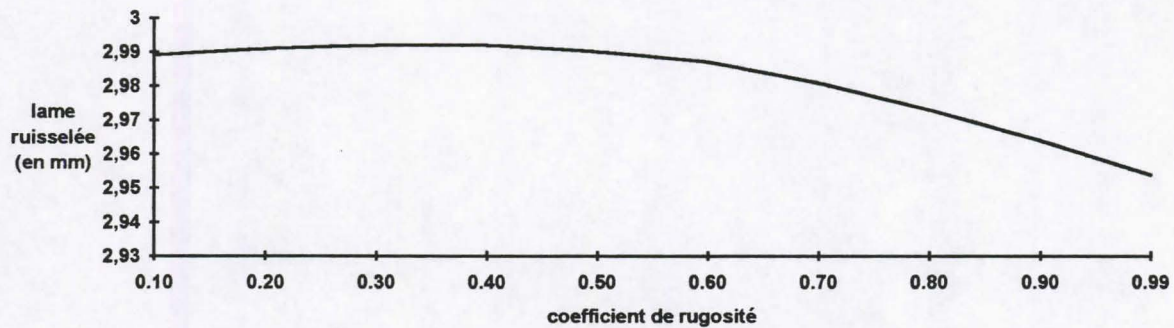
RC	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,99
Lame ruisselée (en mm)	2,967	2,977	2,984	2,989	2,989	2,981	2,962	2,931	2,889	2,836	2,782



Variation de la lame ruisselée : 6,92 %

• pour la forêt :

RC	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,99
Lame ruisselée (en mm)	2,986	2,989	2,991	2,992	2,992	2,990	2,987	2,981	2,973	2,964	2,954



Variation de la lame ruisselée : 1,27 %

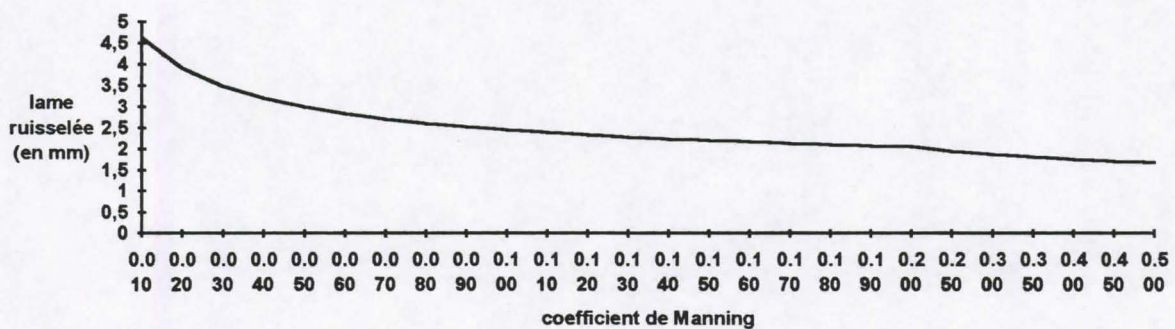
7.4.4 Analyse du Coefficient de Manning (N)

- pour les cultures :

N	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
Lame ruisselée (en mm)	5,305	4,627	3,908	3,484	3,197	2,989	2,830	2,706	2,604	2,519

N	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
Lame ruisselée (en mm)	2,447	2,384	2,329	2,280	2,237	2,198	2,163	2,130	2,100	2,072

N	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Lame ruisselée (en mm)	2,046	1,941	1,863	1,801	1,749	1,706	1,670



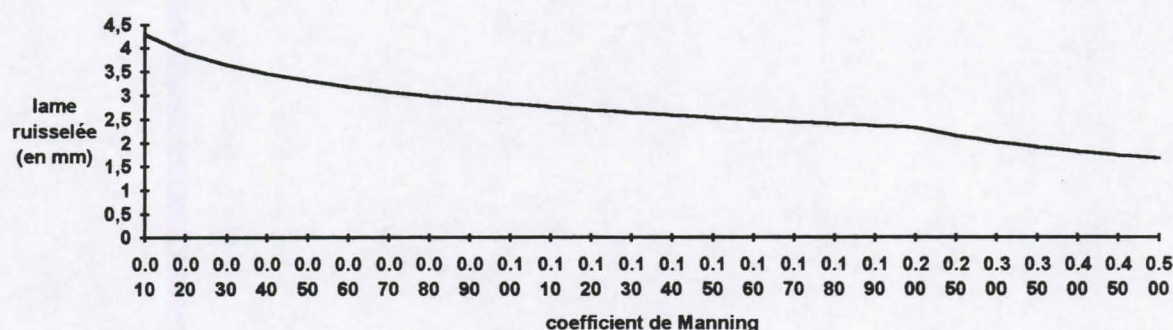
Variation de la lame ruisselée : 66,83 %

- *pour la brousse* :

N	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
Lame ruisselée (en mm)	4,604	4,292	3,906	3,652	3,464	3,314	3,189	3,082	2,989	2,905

N	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
Lame ruisselée (en mm)	2,830	2,761	2,698	2,639	2,585	2,534	2,486	2,442	2,399	2,359

N	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Lame ruisselée (en mm)	2,321	2,156	2,024	1,195	1,822	1,744	1,675



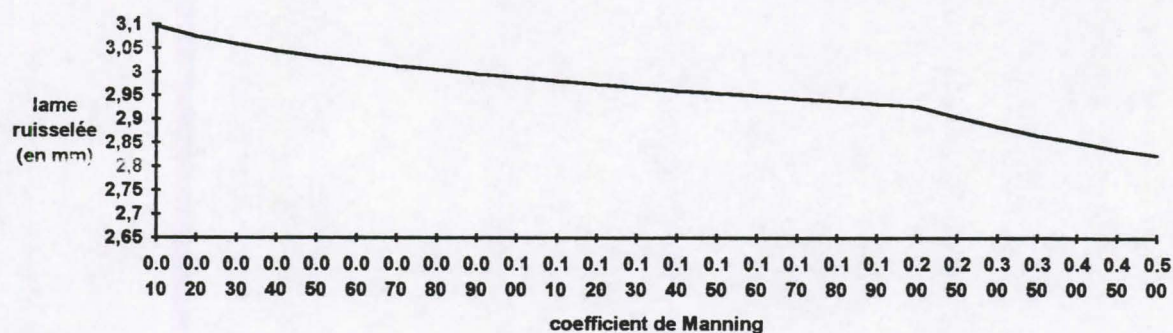
Variation de la lame ruisselée : 63,61 %

- *pour la forêt* :

N	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
Lame ruisselée (en mm)	3,115	3,097	3,075	3,059	3,045	3,033	3,023	3,013	3,005	2,996

N	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
Lame ruisselée (en mm)	2,989	2,981	2,975	2,968	2,962	2,956	2,950	2,944	2,939	2,934

N	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
Lame ruisselée (en mm)	2,929	2,906	2,886	2,868	2,853	2,838	2,825



Variation de la lame ruisselée : 9.30 %

7.4.5 Résultats de l'Analyse de Sensibilité

		Sol			Occupation du sol		
Type		sables	sables et limons	limons	culture	brousse	forêt
Variation de la lame ruisselée en %	Surface couverte en %	57,2	37,8	5	66,8	30,8	2,4
	Profondeur de la zone d'infiltration (DF)	38,95	35,12	6,46			
	Coefficient d'infiltration (P)	27,15	7,16	2,22			
	Coefficient de rugosité (RC)				22,95	6,92	1,27
	Coefficient de Manning (N)				66,83	63,61	9,30

La surface occupée influence l'impact sur la lame ruisselée, mais on note l'importance des caractéristiques d'infiltration (FC et A) qui sont limitantes. Le coefficient de Manning et la profondeur de la zone d'infiltration ont le plus fort impact et nécessitent une optimisation mathématique (difficile d'avoir une valeur expérimentale à l'échelle d'un bassin versant).

Le tableau suivant présente les valeurs retenues pour ces paramètres afin de simuler la crue de type décennal :

Sol	sables	sables et limons	limons
DF	100	50	50
P	0,4	0,5	0,6
Occupation du sol	culture	brousse	forêt
N	0,05	0,08	0,10
RC	0,4	0,4	0,4

7.5 Simulation d'une Crue de Type Décennal

Cette simulation a donc pour objet d'étudier l'influence du coefficient de Manning (N) et de comparer par la même occasion les résultats obtenus avec ceux d'autres méthodes.

Le bassin de Ndiba, bien étudié, a permis de définir une crue de type décennal à partir d'un jeu de données pluviométriques recueillies entre 1983 et 1990.

Caractéristiques de la crue de type décennal (volume total : 108 mm) :

Durée en mn	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	125	290	300
Intensité en mm/h	0	120	154	143	107	80	69	65	62	55	50	45	35	20	10	7	6	3

- **Résultats** (page suivante : *fichier texte et hydrographes à l'exutoire*) :

	Méthode	Résultat
Lame ruisselée en mm	hydrogramme unitaire	21,3
	Méthode ORSTOM	27,7
	ANSWERS	25,9
Coefficient de ruissellement moyen en %	hydrogramme unitaire	22
	Méthode ORSTOM	28,5
	Rodier-Auvray-	22
	Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH)	29
	ANSWERS	23,9

Remarque : le coefficient de ruissellement correspond au rapport du volume de ruissellement superficiel au volume total précipité au cours d'une averse particulière.

Si le volume de la lame ruisselée calculée par ANSWERS est 'correct', la forme de l'hydrogramme est moins satisfaisante (plusieurs crêtes, décalé dans le temps). Il faudrait encore modifier les paramètres (DF et P pour le volume, N et RC pour le 'retard') afin de ramener l'hydrogramme vers une forme monomodale et bien resserrée.

Remarque : il se peut aussi que la forme du modèle numérique de terrain (succession de plateaux) joue un rôle dans la forme de l'hydrogramme.

Commentaires : ANSWERS impose un nombre maximum de 1700 cellules à l'intérieur d'un bassin versant. Le bassin de Ndiba en comportant plus de 20.000, on doit alors changer de résolution (exemple : 100 m) jusqu'à obtenir un nombre de cellules inférieur à cette limite. Ce qui est vraiment dommage, aussi j'ai modifié les programmes pour repousser cette contrainte, corrigé un 'bug' et ça marche !

1 DISTRIBUTED HYDROLOGIC AND WATER QUALITY SIMULATION

BY ANSWERS VER 4.880215

ANSWERS Input File for dudu Project

RAINFALL HYETOGRAPH FOR EVENT OF rain10

GAGE NUMBER R1

TIME - MIN.	RAINFALL RATE - MM/H
.0	.00
5.0	120.00
10.0	154.00
15.0	143.00
20.0	107.00
25.0	80.00
30.0	69.00
35.0	65.00
40.0	62.00
45.0	55.00
50.0	50.00
55.0	45.00
60.0	35.00
65.0	20.00
70.0	10.00
125.0	7.00
290.0	6.00
300.0	3.00

SIMULATION TIME INCREMENT = 60. SECONDS

SOIL PROPERTIES

SOIL	POROSITY (PERCENT VOL.)	FIELD CAP. (PERCENT SAT.)	INFILTRATION CONSTANTS			CONTROL ZONE MM	ANTECEDENT MOISTURE (PERCENT SAT)	EROSI CONS
			FC MM/H	A MM/H	P			
1	40.0	48.0	31.00	36.00	.40	100.0	70.0	.25
2	47.0	55.0	5.00	15.00	.60	50.0	70.0	.25
3	43.0	49.0	11.00	23.00	.50	50.0	70.0	.25

TILE DRAINAGE COEFF. = .00 MM/24H

GROUNDWATER RELEASE FRACTION = .000E+00

COVER/MANAGEMENT PRACTICES

CROP	MAX. POT. INTERCEPTION MM	PERCENT COVER	ROUGH. COEFF.	ROUGH. HEIGHT MM	MANNING'S N	EROSION CONST. MM
1 culture	1.00	50.	.40	30.0	.050	.50
2 brousse	2.00	70.	.40	20.0	.080	.10
3 foret	3.00	90.	.40	30.0	.100	.01

CHANNEL PROPERTIES

TYPE	WIDTH M	MANNING'S N
1	10.0	.010

dudu Project

WATERSHED CHARACTERISTICS

NUMBER OF .09 HA OVERLAND FLOW ELEMENTS =20743

NUMBER OF CHANNEL SEGMENTS = 569

AREA OF CATCHMENT = 1859.1 HA

CATCHMENT SLOPE: MIN = .10 AVE = .79 MAX = 8.90 PERCENT

CHANNEL SLOPE: MIN = .05 AVE = .51 MAX = 4.10 PERCENT

PERCENT OF AREA TILED = .0 WITH A D.C. OF .00 MM/24H

MEAN ANTECEDENT SOIL MOISTURE = 70., FIELD CAPACITY = 49. PERCENT SATURATION

GROUNDWATER RELEASE FRACTION = .0000
OUTLET IS ELEMENT 65 AT ROW 8 COL 21

SURFACE COVER/MANAGEMENT CONDITIONS

SOIL ASSOCIATION PROPERTIES

CROP	PERCENT PRESENT	PERCENT COVER	N	C	NO.	PERCENT PRESENT	FC MM/H	INITIAL MM/H	CONTROL DEPTH MM	K
culture	66.8	50.	.050	.50	1	57.2	31.0	53.2	100.0	.25
brousse	30.8	70.	.080	.10	2	5.0	5.0	12.3	50.0	.25
foret	2.4	90.	.100	.01	3	37.9	11.0	23.6	50.0	.25

OUTLET HYDROGRAPHS--VER 4.880215

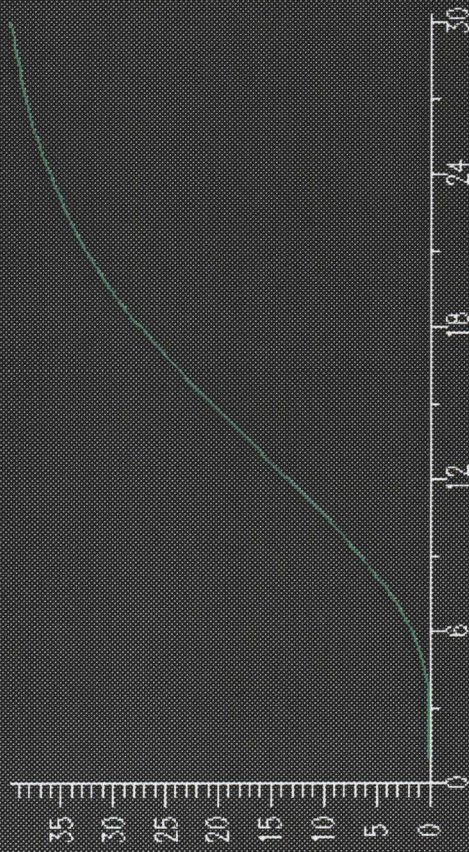
RUNOFF VOLUME PREDICTED FROM 108.02 MM OF RAINFALL = 25.998 MM

AVERAGE SOIL LOSS = 2141. KG/HA

MAX EROSION RATE = 72166. KG/HA MAX DEPOSITION RATE = 172810. KG/HA
STD. DEV. = 9756. KG/HA

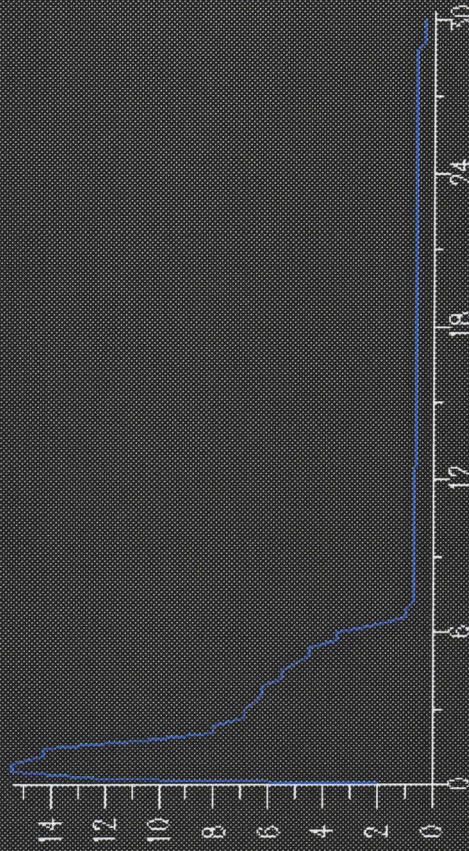
Outlet Hydrograph Data for dudu

Cumulative Sediment Yield



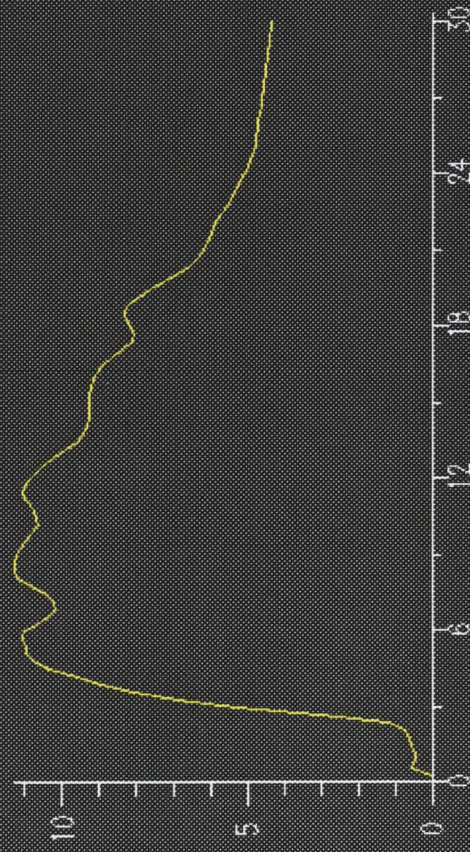
X: Minutes in tens
Y: Sediment kg in hundreds of thousands

Rainfall



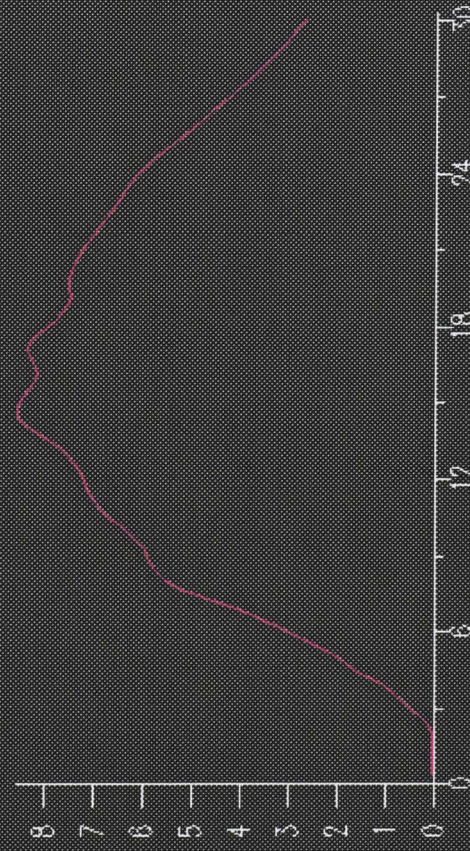
X: Minutes in tens
Y: Rainfall mm/h in tens

Sediment Concentration



X: Minutes in tens
Y: Sediment Concentration mg/l in thousands

Outlet Hydrograph Runoff



X: Minutes in tens
Y: Runoff mm/h

8. Bilan et Perspectives

Dans cette volonté de mieux comprendre le ruissellement en région soudano-sahélienne, l'objectif de cette étude était de tester le modèle hydrologique ANSWERS dans le but de répertorier les différentes méthodes d'évaluation du ruissellement.

C'est pourquoi la '*précision*' n'était pas d'une *absolue* nécessité. A la vue des résultats, le diagnostic est favorable et demande quelques approfondissements. Un modèle hydrologique nécessite toujours un calibrage (sauf modèle déterministe limité à une zone géographique) à l'aide de 2 ou 3 pluies aux résultats connus, et ANSWERS n'y échappe pas. De plus il serait intéressant de déterminer la *fonction de production* du bassin versant (passage de la pluie totale à la pluie ruisselée en utilisant le coefficient de ruissellement) et de la comparer avec celle observée. Pour cela il aurait fallu simuler les 73 crues les plus fortes répertoriées entre 1983 et 1990, mais faute d'avoir obtenu les données pluviométriques de Dakar (Sénégal) à temps, cette étude reste à mener.

De plus un essai sur un relief plus marqué (forte dénivellations) et avec la nouvelle version de GRASS (acceptant les nombres décimaux) me semble nécessaire afin d'observer les bassins versants et les réseaux hydrographiques calculés, et la forme de l'hydrogramme à l'exutoire.

9. Conclusion

Dans les raisons du choix de ce sujet de stage, je citais trois mots-clés : UNIX, SIG et hydrologie.

Néophyte en la matière, l'installation de GRASS sous UNIX relevait du défi. Cela m'a permis de prendre conscience des qualités d'*ouverture* de ce système d'exploitation, et d'ajouter une corde à mon arc.

Pour un SIG du domaine public (gratuit) GRASS présente une panoplie d'outils très intéressants (et je n'ai pas tout vu), bien documentés, et une réelle volonté d'*ouverture*, puisque l'on peut développer ses propres applications et les intégrer au logiciel. A présent familier avec ce concept de SIG, je reprendrais la mise en garde de mon maître de stage, Michel Arnaud : « *il peut y avoir un danger à se laisser entraîner par des outils au risque de perdre de vue notre mission : celle de résoudre des problèmes qui se posent dans les pays du Sud* ».

Rien que pour ANSWERS, GRASS 'vaut le coup' d'être installé sur un site informatique. Ce modèle, connu internationalement, apporte de solides informations en terme d'évaluation du ruissellement pour un bassin versant, et permet aussi d'estimer l'impact d'aménagements sur ce ruissellement.

Après quatre mois de stage, je crois avoir acquis une compétence (certes spécifique) sur le SIG GRASS et le modèle hydrologique ANSWERS, qui me permettra - comme le disait M Jean Grousset (attaché de direction Laboratoires Laffont, intervenant extérieur pour l'université Paul-Valéry) - d'être un 'offreur de services' plutôt qu'un demandeur d'emploi.

Remarque : pour ceux qui trouveraient que ce rapport parle plus d'informatique que d'aménagement, je souhaite apporter quelques précisions. Lors de la première réunion ayant pour but de choisir mon sujet d'étude, deux projets étaient en lice : l'un sur une île du Cap Vert et l'autre sur le Sénégal. Le problème de la disponibilité des données fut soulevé, et les personnes travaillant sur le Cap Vert (avec ARC-INFO) ne se manifestèrent pas. Vers la fin de mon stage, j'ai appris que ce projet était achevé et déjà consultable par INTERNET.

BIBLIOGRAPHIE

- AUDIN, P. (1987) - *Etude expérimentale et modélisation du bilan hydrique avec ruissellement*. Mémoire d'ingénieur agricole, ESA Angers. 71 p. + annexes.
- BELLIVIER, D. (1994) - *Etude de GRASS en vue du couplage Système d'Information Géographique - Modèle Hydrologique*. Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM Montpellier. 32 p.
- BROUWERS, M. (1987) - *Etudes morpho et hydro-pédologiques dans la région de Thyssé Kaymor (Sine Saloum - Sénégal)*. CIRAD, DRN / L-PM / n°5. 40p.
- CASTANIER, C. (1993) - *Caractérisation des états de surface par la télédétection pour une meilleure connaissance du ruissellement en milieu soudano-sahélien. Application aux bassins versants de Thyssé Kaymor (Sénégal)*. Mémoire de 3^{ème} année, CEMAGREF Montpellier. 87 p.
- CIRAD (1993) - *Le CIRAD en 1993*. 130 p.
- DIDON, E. (1990) - *Systèmes d'Information Géographique : Concepts, Fonctions, Applications*. Laboratoire Commun de Télédétection, CEMAGREF/ENGREF Montpellier. 44 p.
- LEVESQUE, D. (1995) - *La Télédétection a sa maison commune. Le Journal d'Agropolis*, Montpellier, n° 4 (juin 1995) : 2.
- MICHEL, P. (1993) - *GRASS4.1 : Généralités, Organisation, Commandes*. Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM Montpellier. 35 p.
- PEREZ, P. (1994) - *Génèse du ruissellement sur les sols cultivés su Sud Saloum (Sénégal). Du diagnostic à l'aménagement de parcelles*. Thèse de doctorat, ENSA Montpellier. 250 p.
- ROOSE, E. (1977) - *Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années d mesures en petites parcelles expérimentales*. ORSTOM, collection Travaux et Documents, n° 78. 108 p.
- TAUER, W. et HUMBORG, G. (1993) - *Irrigation par ruissellement au Sahel : Télédétection et Système d'Information Géographique pour déterminer des sites potentiels*. Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale, ACP-CEE - Weikersheim : Margraf. 199 p.
- WISCHMEIER, W. H., JOHNSON, C.B., et CROSS, B. V. (1971) - *Soils erodibility Nomograph for farm land and construction sites*. Journal of soil and water construction, 26, 5, pp 189-192.

ANNEXE 1

INSTALLATION DE GRASS Version 4.1 Release 5

SUR UNE STATION DE TRAVAIL

HEWLETT-PACKARD Série 9000 Modèle 715 / 100

***Avertissement** : ce document est un complément aux documents officiels déjà existants sur le site GRASS. Il possède uniquement l'avantage d'être en français et de répertorier les différents incidents rencontrés lors de l'installation du logiciel GRASS sur une station de travail Hewlett Packard.*

SOMMAIRE ANNEXE 1

1. LE SITE GRASS.....	1
1.1 LES DOCUMENTS	1
1.2 LES SOURCES.....	2
1.3 LES DONNEES	3
2. LE SITE D'IMPLANTATION.....	3
3. INSTALLATION DE GRASS ET XGRASS VERSION 4.1 RELEASE 5.....	3
3.1 DECOMPRESSION DES FICHIERS.....	4
3.2 CONFIGURATION ('SETUP').....	4
3.3 SPECIFICITES DU SITE LOCAL.....	5
4. COMPILATION DES SOURCES GRASS ET XGRASS	6
4.1 LES INCIDENTS	6
4.1.1 grass4.1/src/xgrass/libes/Xgd/abwcolr.c.....	6
4.1.2 grass4.1/src/xgrass/libes/Xgi/Matrix.c.....	7
4.1.3 grass4.1/src/xgrass/libes/Xgi/Interact.c.....	7
4.1.4 grass4.1/src/xgrass/menu/xc.create.c.....	7
4.1.5 grass4.1/src/xgrass/display/main.c.....	8
4.1.6 grass4.1/src/xgrass/xgaccess/xgaccess.c.....	8
4.1.7 grass4.1/src/xgrass/xgaccess/xgaccess.c.....	8
4.1.8 grass4.1/src/xgrass/xgbrowser/xgbrowser.c.....	8
4.1.9 grass4.1/src/xgrass/xgbuffer/xgbuffer.c.....	8
4.1.10 grass4.1/src/xgrass/xgcats/xgcats.c.....	9
4.1.11 grass4.1/src/xgrass/xgeditor/xgeditor.c.....	9
4.1.12 grass4.1/src/xgrass/xgexec/main.c.....	9
4.1.13 grass4.1/src/xgrass/xgglossary/xgglossary.c.....	9
4.1.14 grass4.1/src/xgrass/xghelp/xghelp.c.....	10
4.1.15 grass4.1/src/xgrass/xghistory/xghistory.c.....	10
4.1.16 grass4.1/src/xgrass/xgmapcalc/xgmapcalc.c.....	10
4.1.17 grass4.1/src/xgrass/xgmapsets/xgmapsets.c.....	10
4.1.18 grass4.1/src/xgrass/xgmapsets/xgmapsets.c.....	10
4.1.19 grass4.1/src/xgrass/xgreclass/xgreclass.c.....	10
4.1.20 grass4.1/src/xgrass/xgregion/xgregion.c.....	10
4.1.21 grass4.1/src/xgrass/xgsupport/xgsupport.c.....	11
4.1.22 grass4.1/src/xgrass/xdigit.....	11
4.1.23 grass4.1/src/xgrass/xdigit/ask_cat.c.....	11
5. EDITION DES LIENS.....	11
6. CONFIGURATION DES 'PILOTES' D'ECRAN.....	11
7. CONFIGURATION DU 'PILOTE' DE LA TABLE A DIGITALISER.....	11
8. CONFIGURATION DU 'PILOTE' D'IMPRIMANTE GRAPHIQUE.....	12
9. COMPILATION DES SOURCES ALPHA, CONTRIB ET GARDEN.....	12
9.1 LES INCIDENTS CONTRIB	12
9.1.1 src.contrib/CERL/raster/r.rvi.....	13
9.1.2 src.contrib/CERL/raster/r.rvi.....	13
9.1.3 src.contrib/CERL/raster/r.traj.....	13
9.1.4 src.contrib/CWU/Census/scripts.....	13
9.1.5 src.contrib/EPA/grass.ipw/grass.to.ipw.....	13
9.1.6 src.contrib/EPA/grass.ipw/ipw.to.grass.....	13
9.1.7 src.contrib/NPS/area.....	14

9.1.8 src.contrib/NPS/distance	14
9.1.9 src.contrib/PURDUE/d.linegraph.....	14
9.1.10 src.alpha/mapdev/v.apply.census.....	14
9.2 LES INCIDENTS GARDEN	14
9.2.1 src.garden/answers/src.answers/display/d.linegraph/cmd/d.linegraph	14
9.2.2 src.garden/answers/src.answers/display/d.rast.zoom/cmd	15
9.2.3 src.garden/answers/src.answers/raster/r.direct/cmd/direct.c.....	15
9.2.4 src.garden/answers/src.answers/raster/r.direct/cmd/direct.c.....	15
9.2.5 src.garden/answers/src.answers/raster/r.direct/cmd/fmt_un.f.....	15
9.2.6 src.garden/answers/src.answers/raster/r.direct/cmd/un_fmt.f.....	15
9.2.7 src.garden/answers/src.answers/raster/r.fill.dir/cmd.....	15
9.2.8 src.garden/answers/src.answers/raster/r.fill.dir/cmd/fill_dir.c.....	16
9.2.9 src.garden/answers/src.answers/raster/r.fill.dir/cmd/fmt_un.f.....	16
9.2.10 src.garden/answers/src.answers/raster/r.fill.dir/cmd/un_fmt.f.....	16
10. EDITION DES LIENS.....	16
11. CONCLUSION	16

Le logiciel a été récupéré via **INTERNET**. Dans le cas où il soit sur bande magnétique ou CD-ROM, reportez-vous aux instructions du guide d'installation *officiel*, puis allez directement au chapitre 3.2 Configuration.

Un minimum de connaissances sur l'environnement **UNIX** est nécessaire. Il faut être capable de se déplacer dans les répertoires (commande '**cd**'), de créer des répertoires (commande '**mkdir**'), de copier des fichiers (commande '**cp**'), de se connecter sur une machine distante (commande '**ftp**') et de connaître un éditeur de texte (commande '**vi**').

1. Le Site GRASS

Le logiciel GRASS peut être récupéré gratuitement sur le site GRASS, à l'adresse INTERNET suivante : ***moon.cecer.army.mil***

Sur le site, on pourra trouver les "exécutables", les sources des programmes, les documents généraux, les documents spécifiques à certaines fonctions, ainsi que des bases de données d'apprentissage.

Remarque : le fichier "*ls-lR.Z*" dans le répertoire "grass" décrit la totalité du site GRASS (arborescence des répertoires et des fichiers). Le répertoire "*incoming*" est dédié aux utilisateurs de GRASS, et fourmille de "choses" intéressantes.

1.1 Les Documents

La liste suivante décrit les chemins d'accès aux différents documents et leurs thèmes :

- * *grass/grass4.1/documents/installGuide.ps.Z* : guide d'installation et de configuration
- * *grass/incoming/HP.trouble.shooting.Z* : guide d'installation pour les stations HP (en anglais, répertorie les différents problèmes de compilation !)
- * *grass/grass4.1/documents/CurrProgs4.1.ps.Z* : liste des programmes de la version 4.1 et leurs fonctions
- * *grass/grass4.1/documents/XUserGuide.ps* : manuel utilisateur de XGRASS4.1 (version X-Windows)

* *grass/grass4.1/documents/manuals/user/postscript/refman.ps.Z* : manuel de l'utilisateur de GRASS4.1

* *grass/grass4.1/documents/manuals/programmer/postscript/README*
inter.xfig.ps.Z
progman.index.ps.Z
progman.ps.Z
vect.xfig.ps.Z

: manuel du programmeur de GRASS4.1 (en plusieurs bouts !)

* *grass/grass4.1/documents/mapcalc-algebra.ps.Z*
mapcalc.ps.Z

: manuels d'utilisation du programme *r.mapcalc* (calculs sur les cartes de type "raster" et sur les images)

* *grass/grass4.0/document/imagery.ps.Z* : manuel d'utilisation des fonctions sur les images

* *grass/grass4.0/document/combine.ps.Z* : manuel d'utilisation du programme *r.combine*

* *grass/grass4.0/document/infer.ps.Z* : manuel d'utilisation du programme *r.infer*

* *grass/grass4.1/documents/spear.DB.ps.Z* : description des différentes cartes de la base de données "spearfish"

* *grass/grass4.1/documents/global.DB.ps.Z* : description des différentes cartes de la base de données "world"

1.2 Les Sources

Les sources des programmes disponibles concernent les versions

- GRASS 4.0
- GRASS 4.1 release 4 et 5

Le chemin suivant concerne la version 4.1 release 5 :

grass/grass4.1/release/source/s5.cpio.Z.0001 à s5.cpio.Z.0016

Remarque : le document "BUG_FIXES.02.95" (dans le répertoire *grass/grass4.1*) regroupe l'ensemble des "bugs" corrigés ou en voie de correction. Bien évidemment le nom de ce document peut changer au cours du temps !

1.3 Les Données

Trois bases de données d'apprentissage sont disponibles :

- * *grass/grass4.1/release/data/spearfish/sp.cpio.Z.0001 à sp.cpio.Z.0009*
- * *grass/grass4.1/release/data/imagery/imagery.cpio.Z.0001 à imagery.cpio.Z.0019*
- * *grass/grass4.1/release/data/world/world.cpio.Z*

2. Le Site d'Implantation

XGRASS nécessite un environnement X-Windows. De ce fait, il faut s'assurer de bien posséder les bibliothèques *X11* et *Motif*, et de préférence les dernières versions (X11R5 et Motif1.2).

Voici un exemple d'environnement pour une station HP :

- * *usr/include/X11R5/X11/Xaw*
 /Xmu
 /Xpm
- * *usr/include/Motif1.2/Xm*
- * *usr/lib/X11R5/libXaw.a* et *libXaw.sl*
 libXmu.a et *libXmu.sl*
 libXpm.a et *libXpm.sl*
- * *usr/lib/Motif1.2/libXm.a* et *libXm.sl*

3. Installation de GRASS et XGRASS Version 4.1 Release 5

Lors de la récupération des fichiers sur le site GRASS, il ne faut pas oublier de rapatrier les différents fichiers "README".

Ils contiennent, entre autres, les procédures de décompression des fichiers et d'installation de GRASS. Ces procédures peuvent varier au cours du temps et des versions.

3.1 Décompression des Fichiers

Les instructions suivantes sont donc extraites des différents fichiers README :

pour les programmes : `cat s5.cpio.Z.* | zcat | (cd [destination]; cpio -icdu)`

pour les données : `cat sp.cpio.Z.* | zcat | (cd [destination]; cpio -icdu)`

`cat imagery.cpio.Z.* | zcat | (cd [destination]; cpio -icdu)`

`zcat world.cpio.Z | (cd [destination])`

Remarque : [destination] représente le répertoire d'installation des programmes et des données.

Exemples : `/usr2/grass/grass4.1` (pour les programmes)

`/usr2/grass/data/spearfish` (pour la BD 'spearfish')

`/usr2/grass/data/imagery` (pour la BD 'imagery')

`/usr2/grass/data/world` (pour la BD 'world')

3.2 Configuration ('Setup')

Se placer dans le répertoire `/usr2/grass/grass4.1/src/CMD` et tapez la commande :

sh utils/setup

Le programme d'installation va poser différentes questions sur le site local, dont voici les réponses :

- Compiler to use [cc] :
- Is this a SUN system ? : **n**
- Is this a MASSCOMP system ? : **n**
- Is this a INTERGRAPH system ? : **n**
- Path for Motif include file [RETURN for none] --> **/usr/include/Motif1.2/Xm**
- Path to your X library [RETURN for none] --> **/usr/lib/X11R5**
- Path to your X intrinsics Library [RETURN for none] --> **/usr/lib/X11R5**
- Path to your X Motif Library [RETURN for none] --> **/usr/lib/Motif1.2**
- Did your system use the GRASS 3.0 Portable Vector format [N]? **n**
- Do you want this feature enabled ? **n**
- UNIX_BIN [/usr/local/bin] :
- COMPILE_FLAGS [-O] :
- Any problems ? **n**
- LDFLAGS [-s] :
- Any problems ? **n**
- XCFLAGS [-D_NO_PROTO] :
- Any problems ? **n**
- XLDFLAGS [] :
- Any problems ? **n**
- XEXTRALIBS [] :


```

- MATHLIB [-lm] :
- Any problems ? n
- TERMLIB [-lterm] :
- Any problems ? n
- CURSES [-lcurses] :
- Any problems ? n
- GISBASE [/usr2/grass/grass4.1] :
- SRC [/usr2/grass/grass4.1/src] :
- DEFAULT_DATABASE [/usr2/grass/data] :
- DEFAULT_LOCATION [spearfish] :
- Look ok ? y
- HEADER [head] : hparch

```

Pour des raisons de clarté, les chemins ('*path*') débiteront à partir de grass4.1.

Remarque : se placer dans le répertoire *grass4.1/src/CMD/head*, éditer le fichier '*hparch*' et modifier la ligne XINCPATH ainsi : *XINCPATH=-I/usr/include/X11R5*

3.3 Spécificités du Site Local

Il s'agit de préciser les programmes à compiler et les périphériques présents (écran, imprimante graphique et table à digitaliser).

* Se placer dans le répertoire *grass4.1/src/CMD/lists*, copier le fichier '*local.example*' en '*local*'. Editez-le et enlevez les '#' devant les options que vous souhaitez prendre en compte.

Exemple : src/display/devices/XDRIVER
 src/display/devices/CELL

* Editez le fichier '*GRASS*' et enlevez les '#' devant tous les programmes sauf :

les 'src.alpha/...'
les 'src.contrib/...'
le 'src/xgrass/pixmap'

* Se placer dans le répertoire *grass4.1/src/display/devices/XDRIVER/XDRIVER*. Editez le fichier '*Gmakefile*' et suivre les instructions, c'est-à-dire :

enlevez le '#' devant la ligne *R3DEFINE = -DX11R3*
et rajoutez un '#' à la ligne suivante.

4. Compilation des Sources GRASS et XGRASS

La compilation de GRASS dure environ 1 heure, et pour XGRASS il faut compter 2 heures en plus (à cause des incidents !).

Se placer dans le répertoire *grass4.1/src/CMD* et tapez la commande : ***sh GISGEN.hparch***

Avant de lancer la compilation, on peut effectuer toutes les modifications en une seule fois, ou bien les corriger au coup par coup. Dans ce cas, pour relancer la compilation il suffit de retaper la commande ***sh GISGEN.hparch*** (le programme d'installation maintient à jour la dernière étape en cours dans le fichier *grass4.1/src/CMD/next_step/next_step*).

Remarque : je remercie Nalneesh Gaur pour son précieux '*HP.trouble.shooting.Z*', dont je ne fais qu'une adaptation française plus didactique!

4.1 Les Incidents

Ils apparaissent lors de la compilation des programmes de XGRASS (et des programmes 'alpha', 'contrib' et 'garden').

Pour chaque incident, je préciserais l'étape, le message d'erreur affiché et la solution adéquate (!!!).

4.1.1 *grass4.1/src/xgrass/libes/Xgd/abwcolr.c*

étape : *grass4.1/src/xgrass/libes/Xgd/abwcolr.c*

message : cc : "/usr/include/stdlib.h", line 121: error 1584:

```
Inconsistent type declaration: "calloc"
                                "malloc"
                                "realloc"
```

*** error code 1

solution :

éditez le fichier *grass4.1/src/include/std_incs.h*

et mettre en commentaires (*/* ... */*) les lignes :

```
extern char *calloc()
extern char *malloc()
extern char *realloc()
```

Remarque : Nalneesh Gaur préconise de mettre en commentaires '#include <stdlib.h>', j'ai préféré faire l'inverse, et ça marche aussi.

4.1.2 grass4.1/src/xgrass/libes/Xgi/Matrix.c

étape : grass4.1/src/xgrass/libes/Xgi/Matrix.c

message : cc : "Matrix.c", line 153: error 1000: Unexpected symbol ")"
line 154: error 1000: Unexpected symbol "}"
line 161: error 1000: Unexpected symbol "{"
line 483: error 1000: Unexpected symbol "xbaeMatrixClassRec"
cc : error 2017: Cannot recover from earlier errors, terminating
*** error code 1

solution :

correction de plusieurs fichiers en même temps :

éditez le fichier grass4.1/src/include/MatrixP.h
et ajoutez '#include <Xm/ManagerP.h>'
éditez le fichier grass4.1/src/include/ClipP.h
et ajoutez '#include <Xm/PrimitiveP.h>'
éditez le fichier grass4.1/src/include/Caption.h
et ajoutez '#include <Xm/ManagerP.h>'

4.1.3 grass4.1/src/xgrass/libes/Xgi/Interact.c

étape : grass4.1/src/xgrass/libes/Xgi/Interact.c

message : cc : "Interact.c", line : error :(beaucoup d'erreurs !!!)
*** error code 1

solution :

éditez le fichier grass4.1/src/xgrass/libes/Xgi/Interact.c
et ajoutez '#include <Xm/PrimitiveP.h>'

4.1.4 grass4.1/src/xgrass/menu/xc.create.c

étape : grass4.1/src/xgrass/menu/xc.create.c

message : /bin/ld: Unsatisfied symbols:

MAX(code)

*** error code 1

solution :

éditez le fichier grass4.1/src/xgrass/menu/xc.create.c
et ajoutez la fonction suivante :

<pre>MAX(a,b) { return((a) > (b) ? (a) : (b)); }</pre>

De plus il faut modifier la fonction 'XcParseHelpData' :
rajouter 'return 1;' juste avant la fin de la fonction

4.1.5 grass4.1/src/xgrass/display/main.c

étape : grass4.1/src/xgrass/display/main.c

message : /bin/ld: Unsatisfied symbol:

yyerrflag(data)

MAX(code)

XallocColor(code)

*** error code 1

solution :

éditez le fichier grass4.1/src/xgrass/display/main.c

et ajoutez - la solution décrite 4.1.4

- int yyerrflag = 0;

éditez le fichier grass4.1/src/xgrass/display/Gmakefile

et modifiez la ligne LIBS ainsi :

LIBS = \$(BOGUS) \$(XGDLIB) \$(XGILIB) \$(XPMLIB) \$(BOGUS) \$(YYY)

\$(XXX)

4.1.6 grass4.1/src/xgrass/xgaccess/xgaccess.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xgaccess/xgaccess.c

message : idem 4.1.1

solution : idem 4.1.1 (cette erreur ne devrait pas survenir si la solution 1 a déjà été appliqué)

4.1.7 grass4.1/src/xgrass/xgaccess/xgaccess.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xgaccess/xgaccess.c

message : idem 4.1.4

solution : idem 4.1.4

4.1.8 grass4.1/src/xgrass/xgbrowser/xgbrowser.c

étape : grass/src/xgrass/xgbrowser/xgbrowser.c

message : idem 4.1.4

solution : idem 4.1.4

4.1.9 grass4.1/src/xgrass/xgbuffer/xgbuffer.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xgbuffer/xgbuffer.c

message : /bin/ld: Unsatisfied symbols:

Min(code)

Max(code)

MAX(code)

*** error code 1

solution :

éditez le fichier grass4.1/src/xgrass/xgbuffer/xgbuffer.c
et ajoutez - la solution décrite en 4.1.4 (pour MAX)
- les fonctions Min et Max :

```
Min(x,y)
int x, y;
{
    return(((x) < (y)) ? (x) : (y));
}
```

```
Max(x,y)
int x, y;
{
    return (((x) > (y)) ? (x) : (y));
}
```

4.1.10 grass4.1/src/xgrass/xgcats/xgcats.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xgcats/xgcats.c

message : idem 4.1.4

solution : idem 4.1.4

4.1.11 grass4.1/src/xgrass/xgeditor/xgeditor.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xgeditor/xgeditor.c

message : idem 4.1.4

solution : idem 4.1.4

4.1.12 grass4.1/src/xgrass/xgexec/main.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xgexec/main.c

message : idem 4.1.4

solution : idem 4.1.4

4.1.13 grass4.1/src/xgrass/xgglossary/xgglossary.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xgglossary/xgglossary.c

message : idem 4.1.4

solution : idem 4.1.4

4.1.14 grass4.1/src/xgrass/xghelp/xghelp.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xghelp/xghelp.c

message : idem 4.1.4

solution : idem 4.1.4

4.1.15 grass4.1/src/xgrass/xghistory/xghistory.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xghistory/xghistory.c

message : idem 4.1.4

solution : idem 4.1.4

4.1.16 grass4.1/src/xgrass/xgmapcalc/xgmapcalc.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xgmapcalc/xgmapcalc.c

message : idem 4.1.4

solution : idem 4.1.4

4.1.17 grass4.1/src/xgrass/xgmapsets/xgmapsets.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xgmapsets/xgmapsets.c

message : idem 4.1.1

solution : idem 4.1.1 (cette erreur ne devrait pas survenir si la solution 1 a déjà été appliqué)

4.1.18 grass4.1/src/xgrass/xgmapsets/xgmapsets.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xgmapsets/xgmapsets.c

message : idem 4.1.4

solution : idem 4.1.4

4.1.19 grass4.1/src/xgrass/xgreclass/xgreclass.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xgreclass/xgreclass.c

message : idem 4.1.4

solution : idem 4.1.4

4.1.20 grass4.1/src/xgrass/xgregion/xgregion.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xgregion/xgregion.c

message : idem 4.1.4

solution : idem 4.1.4

4.1.21 grass4.1/src/xgrass/xgsupport/xgsupport.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xgsupport/xgsupport.c

message : idem 4.1.4

solution : idem 4.1.4

4.1.22 grass4.1/src/xgrass/xdigit

étape : grass4.1/src/xgrass/xdigit

message : /bin/ld: Can't find library for -lXt

*** error code 1

solution :

éditez le fichier grass4.1/src/xgrass/xdigit/Gmakefile
et modifiez la deuxième ligne de \$PGM, en ajoutant
\$(XTLIBPATH) entre \$(XLIB) et \$(XLIB)

4.1.23 grass4.1/src/xgrass/xdigit/ask_cat.c

étape : grass4.1/src/xgrass/xdigit/ask_cat.c

message : idem 4.1.4

solution : idem 4.1.4

5. Edition des Liens

A la fin de la procédure de compilation, le programme d'installation affiche le message suivant : *DONE generating GIS binary code*

Pour procéder à l'édition des liens, il suffit de taper la commande : *sh MAKELINKS.hparch*

6. Configuration des 'Pilotes' d'Ecran

Se placer en *grass4.1/etc*, copier le fichier '*moncap.sample*' en '*monitorcap*', éditer ce fichier et enlever tous les '#' devant les lignes concernant les drivers *x0* à *x6*, et le driver *CELL*.

7. Configuration du 'Pilote' de la Table à Digitaliser

Se placer en *grass4.1/etc*, copier le fichier '*digcap.sample*' en '*digcap*', éditer ce fichier et vérifier les informations (pas de table à digitaliser dans mon cas).

8. Configuration du 'Pilote' d'Imprimante Graphique

Se reporter à la documentation officielle (pas d'imprimante graphique dans mon cas).

9. Compilation des Sources ALPHA, CONTRIB et GARDEN

Se placer en *grass4.1/src/CMD/lists*, éditer le fichier 'GRASS' : mettre un '#' devant les programmes déjà compilés avec succès, et enlever les '#' devant les programmes 'src.alpha/...' et 'src.contrib/...'.

Rajouter à la fin la ligne suivante :

src.garden/answers/src.answers (pour installer le modèle hydrologique 'ANSWERS').

Remarque : la liste des programmes contenues dans le fichier 'GRASS' n'est pas exhaustive, et vous pouvez en profiter pour rajouter tous ceux qui vous intéressent !

Se placer en *grass4.1/src/CMD/next_step*, éditer le fichier 'next_step' et remplacer 'DONE' par 'src.alpha/display/d.labels' (premier fichier de la série des programmes alpha et contrib à compiler).

Se placer en *grass4.1/src/CMD* et taper la commande : **sh GISGEN.hparch**

9.1 Les Incidents CONTRIB

Ils sont nombreux, concernent les programmes CONTRIB et GARDEN (pas de problèmes pour les ALPHA, sauf un), et la plupart n'ont pas été corrigé (!!!), faute de connaissances en C et en FORTRAN (langages de programmation).

Quand vous ne trouvez pas de solutions à un incident, il suffit de 'sauter' l'étape pour poursuivre la procédure de compilation, en tapant la commande : **sh GISGEN.hparch -skip**

Remarque : j'emploierais souvent ce terme '*skip*' pour signifier que je n'ai pu fournir de solutions !!! Ces programmes sont des 'généreuses' contributions d'utilisateurs de GRASS, qui les ont développés pour leurs besoins propres, et les mettent à la disposition de la communauté des utilisateurs de GRASS. De ce fait, ils ne font pas partie de GRASS *stricto sensu*, et leur bon fonctionnement dépend souvent de l'environnement logiciel (bibliothèques) et de l'architecture

(type de machine). Cependant, je soulignerais l'effort de certains utilisateurs pour proposer des produits fonctionnant sur tout type de machine (HP est un matériel difficile à satisfaire !!!).

9.1.1 src.contrib/CERL/raster/r.vi

étape : grass4.1/src.contrib/CERL/raster/r.vi

message : Make: line 132: syntax error. Stop

solution :

éditer le fichier grass4.1/src.contrib/CERL/raster/r.vi/Gmakefile
et remplacer la dernière ligne '\$(LIBES): #' par '\$(GISLIB): #'.

9.1.2 src.contrib/CERL/raster/r.vi

étape : grass4.1/src.contrib/CERL/raster/r.vi

message : beaucoup d'erreurs !

solution : skip

9.1.3 src.contrib/CERL/raster/r.traj

étape : grass4.1/src.contrib/CERL/raster/r.traj

message : beaucoup d'erreurs !

solution : skip

9.1.4 src.contrib/CWU/Census/scripts

étape : grass4.1/src.contrib/CWU/Census/scripts

message : beaucoup d'erreurs !

solution : skip

9.1.5 src.contrib/EPA/grass.ipw/grass.to.ipw

étape : grass4.1/src.contrib/EPA/grass.ipw/grass.to.ipw

message : beaucoup d'erreurs !

solution : skip

9.1.6 src.contrib/EPA/grass.ipw/ipw.to.grass

étape : grass4.1/src.contrib/EPA/grass.ipw/ipw.to.grass

message : beaucoup d'erreurs !

solution : skip

9.1.7 src.contrib/NPS/area

étape : grass4.1/src.contrib/NPS/area

message : beaucoup d'erreurs !

solution : skip

9.1.8 src.contrib/NPS/distance

étape : grass4.1/src.contrib/NPS/distance

message : beaucoup d'erreurs !

solution : skip

9.1.9 src.contrib/PURDUE/d.linegraph

étape : grass4.1/src.contrib/PURDUE/d.linegraph

message : beaucoup d'erreurs !

solution : skip

9.1.10 src.alpha/mapdev/v.apply.census

étape : grass4.1/src.alpha/mapdev/v.apply.census

message : cp: cannot create/usr2/grass/grass4.1/etc/census.docs/stf_matrix:

Permission denied

*** error code 1

solution :

se placer en grass4.1/etc/census.docs et modifier les droits en écriture sur le fichier
'stf_matrix'

9.2 Les Incidents GARDEN

Il s'agit de la compilation de l'ensemble des programmes constituant le modèle hydrologique 'ANSWERS'.

9.2.1 src.garden/answers/src.answers/display/d.linegraph/cmd/d.linegraph

étape : grass4.1/src.garden/answers/src.answers/display/d.linegraph/cmd/d.linegraph

message : problème sur l'instruction 'FILE *fclose()'

solution :

éditer le fichier 'd.linegraph.c' et remplacer l'expression 'FILE *fclose()'
par 'int fclose();'

9.2.2 src.garden/answers/src.answers/display/d.rast.zoom/cmd

étape : grass4.1/src.garden/answers/src.answers/display/d.rast.zoom/cmd

message : problème sur le fichier 'Gmakefile'

solution : éditer le fichier 'Gmakefile' et remplacer la dernière ligne '\$(G_LIB)' par '\$(D_LIB)'

9.2.3 src.garden/answers/src.answers/raster/r.direct/cmd/direct.c

étape : grass4.1/src.garden/answers/src.answers/raster/r.direct/cmd/direct.c

message : problème sur le fichier 'mp.h'

solution : rechercher le fichier 'mp.h' (commande 'find') et le copier dans le répertoire /usr/include

9.2.4 src.garden/answers/src.answers/raster/r.direct/cmd/direct.c

étape : grass4.1/src.garden/answers/src.answers/raster/r.direct/cmd/direct.c

message : idem 9.2.1 (problème sur 'fclose')

solution : idem 9.2.1

9.2.5 src.garden/answers/src.answers/raster/r.direct/cmd/fmt_un.f

étape : grass4.1/src.garden/answers/src.answers/raster/r.direct/cmd/fmt_un.f

message : line17: unbalanced parentheses, statement skipped

solution : éditer le fichier 'fmt_un.f', couper la ligne la plus longue en deux, et mettre un '*' en colonne 6 devant cette deuxième moitié.

9.2.6 src.garden/answers/src.answers/raster/r.direct/cmd/un_fmt.f

étape : grass4.1/src.garden/answers/src.answers/raster/r.direct/cmd/un_fmt.f

message : idem 9.2.5 (problème de ligne trop longue)

solution : idem 9.2.5

9.2.7 src.garden/answers/src.answers/raster/r.fill.dir/cmd

étape : grass4.1/src.garden/answers/src.answers/raster/r.fill.dir/cmd

message : Directory fill-OBJ/: Make: Cannot open. Stop

solution : éditer le fichier 'Gmakefile' et changer 'fill-dir.o' en 'fill_dir.o'. Renommer le fichier 'fill-dir.c' en 'fill_dir.c'

9.2.8 src.garden/answers/src.answers/raster/r.fill.dir/cmd/fill_dir.c

étape : grass4.1/src.garden/answers/src.answers/raster/r.fill.dir/cmd/fill_dir.c

message : idem 9.2.1

solution : idem 9.2.1

9.2.9 src.garden/answers/src.answers/raster/r.fill.dir/cmd/fmt_un.f

étape : grass4.1/src.garden/answers/src.answers/raster/r.fill.dir/cmd/fmt_un.f

message : idem 9.2.5

solution : idem 9.2.5

9.2.10 src.garden/answers/src.answers/raster/r.fill.dir/cmd/un_fmt.f

étape : grass4.1/src.garden/answers/src.answers/raster/r.fill.dir/cmd/un_fmt.f

message : idem 9.2.5

solution : idem 9.2.5

10. Edition des Liens

A la fin de la procédure de compilation, le programme d'installation affiche le message suivant : ***DONE generating GIS binary code***

Pour procéder à l'édition des liens, il suffit de taper la commande : ***sh MAKELINKS.hparch***

11. Conclusion

Je n'ai pas encore testé toutes les fonctions de GRASS, mais certaines ne fonctionnent pas du tout (ex : v.support provoque un 'bus error'), ou bien donnent des résultats ...!?!?.. (ex : r.direct ou r.fill.dir ne donnent 'rien' sur de grandes surfaces (peut-être est-ce normal ?)).

Aussi je conseillerais de récupérer les fichiers **exécutables** disponibles pour certaines machines (ex : SUN, Silicon Graphics, PC-Linux, ...). Tous les problèmes de compilation seront ainsi supprimés, et l'on sera sûr qu'en cas de mauvais fonctionnement d'un programme, l'installateur ne sera pas à blâmer !!!

ANNEXE 2

LE TOUR DE 'GRASS' EN 60 COMMANDES

MINI-GUIDE D'UTILISATION

Avertissement : ce document est un **complément** aux documents officiels déjà existants sur le site GRASS. Il possède l'avantage d'être en français et de présenter brièvement les commandes les plus fréquemment utilisées lors de la manipulation de cartes au format '**raster**'.

SOMMAIRE ANNEXE 2

PREAMBULE	1
1. ORGANISATION DES DONNEES : LOCATION, MAPSET ET DATABASE	2
2. COMMANDES D'ENVIRONNEMENT	3
G.ACCESS	3
G.COPY	3
G.LIST	3
G.MANUAL	3
G.MAPSETS	3
G.REGION	4
G.REMOVE	4
G.RENAME	4
EXIT	4
3. COMMANDES D'AFFICHAGE	5
D.3D	5
D.DISPLAY	5
D.ERASE	5
D.FRAME	5
D.LINEGRAPH (SRC.CONTRIB)	5
D.MON	6
D.PROFILE	6
D.RAST	6
D.RAST.EDIT	6
D.SITES	6
D.VECT	7
D.WHAT.RAST	7
D.WHAT.VECT	7
D.WHERE	7
D.ZOOM	7
4. COMMANDES 'RASTER'	8
R.ANSWERS (SRC.GARDEN)	8
R.BUFFER	8
R.CATS	8
R.CLUMP	8
R.COIN	8
R.COLORS	9
R.CONTOUR	9
R.CROSS	9
R.DIGIT	10
R.GROW	10
R.IN.ERDAS (SRC.CONTRIB)	10
R.LINE	10
R.LOS	10
R.MAPCALC	11
R.MASK	11
R.NEIGHBORS	11
R.PATCH	11
R.POLY	12
R.RANDOM	12
R.RECLASS	12
R.REPORT	12
R.RESAMPLE	13

R.RESCALE.....	13
R.SLOPE.ASPECT.....	13
R.SUPPORT.....	13
R.SURF.CONTOUR.....	14
R.SURF.IDW.....	14
R.SURF.IDW2.....	14
R.THIN.....	14
R.WATERSHED.....	14
5. COMMANDES 'SITES'.....	15
S.SURF.IDW.....	15
S.SURF.TPS.....	15
S.MENU.....	15
6. COMMANDES D'IMPRESSION POSTSCRIPT.....	15
PS.SELECT.....	15
PS.MAP.....	15
7. FORMATS D'ECHANGES DE DONNEES.....	16
7.1 IMPORTATION DE FICHIERS.....	16
7.1.1 Vecteur.....	16
7.1.2 Raster.....	16
7.2 EXPORTATION DE FICHIERS.....	17
7.2.1 Vecteur.....	17
7.2.2 Raster.....	17

PREAMBULE

Ecrire un mini-guide d'utilisation n'est pas une simple formalité, car l'on doit faire des choix avec le risque évident de laisser de côté des fonctionnalités importantes et de frustrer le lecteur (« Oh il est nul ce logiciel, on peut pas faire ça ... »). Après quatre mois de stage j'ai adopté la démarche suivante : j'ai pris le *guide utilisateur officiel* et j'ai répertorié toutes les fonctions que j'utilisais au moins une fois par jour dans le cadre de mes travaux, et celles me paraissant intéressantes par rapport à leur potentiel.

La plupart des commandes sont interactives : il suffit de taper le nom de la commande puis de répondre aux questions posées.

Pour chaque commande je préciserais :

- brièvement sa fonction
- le 'menu' d'accès dans XGRASS (en anglais, pour ne pas désorienter le lecteur) quand il existe. *Remarque* : plusieurs accès débouchent parfois sur la même commande !
- un exemple s'appuyant sur la base de données 'spearfish' (quand la commande est interactive, chaque ligne équivaut à une réponse) et exécuté à partir de la *ligne de commande*.
- des exemples de raccourcis : les commandes en ligne peuvent comprendre des paramètres (voir documentation officielle) évitant de passer par les écrans interactifs !

Remarque : quand une commande n'est proposée par un menu dans XGRASS, on peut toujours y accéder en ouvrant une fenêtre 'Shell'.

NB : j'utiliserais souvent des termes en anglais pour ne pas désorienter l'utilisateur !

1. Organisation des données : Location, Mapset et Database

Dès le démarrage de GRASS, vous devez définir trois éléments : la 'location', le 'mapset' et la 'database'. Ces trois éléments sont en fait des répertoires et organisent les données.

- **location** : spécifie une aire géographique dans laquelle seront réalisées tous vos travaux (exemple : 'spearfish'). Généralement on lui donne le nom correspondant au sujet des travaux. C'est sous cette 'location' que seront stockées tous les fichiers se rapportant à ce sujet. A cette 'location' est associé un système de coordonnées (projection), ses limites (nord, sud, est, ouest) et sa résolution (taille d'une cellule). GRASS permet de travailler avec les systèmes de coordonnées cartésiens (x,y) et géographiques (latitude, longitude), et préconise le système de projection UTM ('*Universal Transverse Mercator*').

Remarque : lors d'une session, on ne peut accéder qu'à une seule 'location' !

- **mapset** : est un répertoire à l'intérieur d'une 'location', dans lequel seront stockés tous les fichiers relatifs à un sujet. GRASS crée toujours un 'mapset' appelé 'PERMANENT' que l'on utilise comme une sorte d'*archive* : on travaille dans *son* 'mapset' en utilisant des cartes stockées dans le 'mapset PERMANENT'.

Remarque : lors d'une session, on peut accéder à plusieurs 'mapsets' (de manière transparente) de la même 'location'.

- **Database** : est le répertoire utilisé pour la création / utilisation des 'locations' et des 'mapsets'.

Database	Location	Mapset
/usr2/grass/data	/spearfish	/PERMANENT /damien /robert
/users/urvoix	/thysse_kaymor	/PERMANENT /damien /ndiba

2. Commandes d'Environnement

g.access

- modifie les droits en lecture et en écriture sur le mapset en cours.

- Xgrass :

Map Management	
Access	Set Map Permissions

g.copy

- copie des fichiers ('raster', 'vector', 'site', ...) à l'intérieur d'un mapset, ou d'un mapset (décrit dans la liste des mapsets accessibles) vers le mapset courant.

- Xgrass :

Map Management	
Copy	Raster
	Vector
	...

- g.copy rast=file_name1,file_name2* : copie le fichier raster 1 en fichier raster 2

g.list

- affiche la liste des fichiers pour l'élément choisi (raster, vector, ...), de tous les mapsets accessibles.

- Xgrass :

Map Management	
List	GRASS Files
- g.list rast* : affiche les cartes raster des mapsets accessibles

g.manual

- lance le manuel utilisateur.

- Xgrass :

Help	
Open GRASS Manual	
- g.manual nom_commande* : affiche l'aide sur une commande

g.mapsets

- modifie la liste des mapsets accessibles (ajout, suppression, ordre d'affichage).

- Xgrass :

Map Management	
Access	Set Mapset Search Path

g.region

- modifie les paramètres géographiques d'une région (aire géographique). *Remarque* : utiliser **d.erase** pour que le moniteur graphique prenne en compte la nouvelle région !

- Xgrass :

Map Management
Set Region from Default
Set Region from Raster Map
Modify Current Region
Modify Default Region

- *g.region -d* : mise en place de la région par défaut
g.region rast=file_name1 : mise en place de la région selon les coordonnées du fichier raster 1
g.region res=100 : mise en place d'une résolution à 100 mètres

g.remove

- supprime un fichier (raster, vector, ...) du mapset en cours.

- Xgrass :

Map Management	
Remove	Raster
	Vector
	Sites
	Icon
	Labels
	Region
	Group

- *g.remove rast=file_name1,file_name2,file_name3* : supprime les fichiers raster 1,2 et 3

g.rename

- renomme un fichier (raster, vector, ...) du mapset en cours.

- Xgrass :

Map Management	
Rename	Raster
	Vector
	Sites
	Icon
	Labels
	Region
	Group

- *g.rename rast=file_name1,file_name2* : renomme le fichier raster 1 en fichier raster2

exit

- arrête la session GRASS.

- Xgrass :

Quit
Quit GRASS

NB : ne pas oublier de stopper le moniteur graphique avant de quitter GRASS !!!

3. Commandes d’Affichage

d.3d

- affiche une carte raster en 3 dimensions, en utilisant une autre carte raster servant de référence pour l’altitude.
- Xgrass :

Display		
Display	Raster	Display 3-Dimensional Images
- d.3d
aspect (carte des orientations, que l’on veut voir en 3D)
elevation.dem (carte des élévations, c.a.d. un Modèle Numérique de Terrain)
 « modifier les paramètres, notamment la résolution »

d.display

- affiche un menu interactif dans le moniteur graphique permettant de visualiser des cartes (raster, vector,...).
 - Xgrass :

Display	
Display Tools	
- Remarque : xgdisplay en est l’équivalent en beaucoup plus ‘puissant’ (attention : décalage des couleurs pour la légende !).

d.erase

- efface le contenu du cadre *actif* (ou du moniteur graphique si ce dernier est égal au cadre actif). Remarque : à utiliser après avoir modifié la région.
- Xgrass :

Display		
Manage	Erase Display Frame	

d.frame

- gère l’affichage des cadres à l’intérieur du moniteur graphique. Remarque : par défaut le cadre actif est égal au moniteur graphique.
- Xgrass :

Display		
Manage	Manage Display Frames	
- d.frame -e* : supprime tous les cadres à l’intérieur du moniteur graphique

d.linegraph (src.contrib)

- ne fait pas partie de GRASS *stricto sensus* !
- affiche un graphe à l’intérieur du cadre actif. à partir de deux fichiers ‘texte’. Cette fonction fait partie des sources CONTRIB, et doit donc être installée surtout si l’on souhaite utiliser ANSWERS.

d.mon

- gère l'affichage des moniteurs graphiques.
- Xgrass :

Display	
Manage	Control Display Monitor
- *d.mon x0* : lance le moniteur graphique x0
d.mon stop=x0 : stoppe le moniteur graphique x0
d.mon select=x0 : sélectionne le moniteur graphique x0

d.profile

- affiche le profil des 'catégories' d'une carte sur une ligne (ou plusieurs) choisie par l'utilisateur.
- *d.profile*
elevation.dem (carte des élévations, pour avoir des profils style 'tour de France')
 « suivre les instructions »

d.rast

- affiche une carte raster dans le cadre actif.
- Xgrass :

Display		
Display	Raster	Display Raster Maps
- *d.rast aspect* : affiche la carte 'aspect'
d.rast -o streams : superpose la carte 'streams' sur l'affichage en cours ('overlay'), en n'affichant que les cellules renseignées (les cellules à 'no data' sont ignorées)

d.rast.edit

- permet d'afficher les catégories des cellules d'une carte raster, de les éditer, de 'zoomer' sur une partie de la carte et d'afficher les 'orientations' (selon différents formats) sous forme de 'flèches'. Cette commande combine les fonctions de *d.rast.num* (affichage catégories), de *d.rast.arrow* (affichage orientations) et de *d.rast.zoom* ('zoom' carte).
- *d.rast aspect* (pour afficher une carte de travail)
d.rast.edit
file_name (nom du fichier résultat en cas de modification des catégories des cellules)
 « suivre les instructions »

d.sites

- affiche un fichier de sites à l'écran.
- Xgrass :

Display		
Display	Sites	Display Sites Markers
- *d.rast elevation.dem* (pour afficher une carte de travail)
d.sites
archsites (carte des sites archéologiques)
 ENTER (3 fois)

d.vect

- affiche une carte vecteur dans le cadre actif.
- Xgrass :

Display		
Display	Vector	Display Vector Maps
- *d.vect roads color=red* : affiche la carte des routes avec la couleur rouge (par défaut la couleur d'affichage est 'blanc')

d.what.rast

- permet de connaître les catégories d'une cellule sur plusieurs cartes raster en même temps (sélection de la cellule à l'aide de la souris) et les coordonnées de la cellule. *Remarque* : il est conseillé d'afficher une carte de travail pour se repérer (c'est quand même mieux qu'un écran noir !). Par défaut la commande affiche les catégories des cellules pour la carte présente à l'écran.
- *d.rast aspect* (pour afficher la carte de travail)
d.what.rast map=vegcover,aspect,elevation.dem,geology
« suivre les instructions »

d.what.vect

- permet de connaître les catégories d'une cellule sur une carte vecteur (sélection à l'aide de la souris).
- *d.vect roads* (pour afficher la carte de travail)
d.what.vect
« suivre les instructions »

d.where

- affiche les coordonnées d'un point choisi à l'aide de la souris, et permet aussi de relier ces points entre eux.
- *d.rast aspect* (pour afficher une carte de travail)
d.where
« suivre les instructions »

d.zoom

- effectue un zoom sur une partie de l'écran (sélection de la zone à l'aide de la souris). De ce fait les coordonnées géographiques de la région en cours sont modifiées.
- *d.rast aspect* (pour afficher la carte de travail)
d.zoom
« suivre les instructions »
d.erase (pour que le moniteur graphique prenne en compte la nouvelle région)
d.rast aspect (pour voir le 'zoookoooooom')

4. Commandes 'Raster'

r.answers (src.garden)

- se reporter au document principal de ce rapport. Lire : 'ANSWERS User's Manual' (disponible auprès de David B. Beasley, email : beasley@bae.ncsu.edu) et 'Class Exercise Using the ANSWERS-GRASS Integration' (dans le répertoire ANSWERS).

r.buffer

- crée une carte raster des zones tampons ('buffers') entourant les catégories non nulles d'une carte. Un 'buffer' est caractérisé par une proximité (distance) par rapport à une catégorie.
- Xgrass :

Raster			
Analyze	Neighborhood	Calculate Distance Buffers	
	Proximity	Reclass	Calculate Distance Buffers

- r.buffer input=streams output=file_name distances=100,100000 units=meters* : crée un fichier raster *file_name* comportant 3 catégories : les rivières de départ, les zones entre 0 et 100 mètres des rivières, et les zones entre 100 et 100000 mètres des rivières.

r.cats

- affiche la liste des catégories et leurs labels (descriptions) d'une carte raster.

- Xgrass :

Raster	
Report	Print Category Values and Labels
- r.cats roads* : affiche les catégories et labels de la carte *roads*

r.clump

- crée une carte raster en transformant les groupes de cellules de même catégorie en une nouvelle catégorie.

- Xgrass :

Raster		
Analyze	Neighborhood	Clump Data
	Region	Clump Data
	Terrain	Clump Data

- r.buffer input=streams output=file_name1 distances=100,200,300,400,100000 units=meters* (pour créer une carte de travail)
r.clump
file_name1
file_name2 (nom du fichier résultat)
ENTER (2 fois)
d.rast file_name2 (pour voir le 'joli' résultat !!)

r.coin

- crée un tableau à 2 entrées croisant les catégories de 2 cartes raster. Remarque : on peut croiser plus de 2 cartes, mais cela devient difficilement lisible !

- Xgrass :

Raster		
Analyze	Single Cell	Tabulate Mutual Categories Occurences
Report	Tabulate Mutual Categories Occurences	

- r.coin
vegcover (carte de la végétation)
geology (carte géologique)
y (pour confirmation)
h (choix des unités)
« suivre les instructions »

r.colors

- crée / modifie la table des couleurs associée aux catégories d'une carte raster.

• Xgrass :	Raster	
	Develop	Create-Modify Raster Map's Color Table

- r.colors
vegcover (carte de la végétation)
color_type (choix d'un type de table prédéfini)
y (pour confirmation)
ENTER

Remarque : l'option *color_type=rules* permet de définir une couleur pour chaque catégorie selon la syntaxe suivante :

```
> 0 white (couleur blanche pour la catégorie 0)
> 1 red
> 2 yellow
.....
> end
```

r.contour

- crée une carte vecteur à partir des contours 'spécifiés' d'une carte raster.

- r.contour
elevation.dem (carte des élévations)
ENTER (3 fois)
20 (choix de l'intervalle en mètres)
y (pour confirmation)
file_name (nom du fichier résultat)
y (pour confirmation)
ENTER (2 fois)

r.cross

- crée une carte à partir du croisement des catégories de plusieurs cartes raster (combinaison des catégories).

• Xgrass :	Raster		
	Analyze	Overlay	Create Category Values Cross Product

- `r.cross`
`vegcover` (carte de la végétation)
`geology` (carte géologique)
ENTER (marque la fin de la saisie des cartes)
`file_name` (nom du fichier résultat)
ENTER (2 fois)

r.digit

- crée une carte raster composée de lignes, aires ... dessinées à l'écran à l'aide de la souris.

r.grow

- crée une carte raster où les aires contigües (cellules de même catégorie) grandissent d'une cellule à leur périphérie.
- Xgrass :

Raster			
Analyze	Neighborhood	Grow Contiguous Areas by One Cell	
- `r.grow`
`rushmore` (carte du parc *rushmore*)
`file_name` (nom du fichier résultat)
y (pour confirmation)

r.in.erdas (src.contrib)

- ne fait pas partie de GRASS *stricto sensu* !
- importe des fichiers images au format ERDAS et les transforme en fichiers raster au format GRASS. Cette fonction fait partie des sources CONTRIB et doit donc être installée.

r.line

- crée une carte vecteur à partir d'un fichier raster aux lignes (contours) réduites à un 'pixel' (voir `r.thin` pour cette 'réduction' !).
- Xgrass :

Raster		
Convert	Create Binary Vector File from Thinned Raster	

r.los

- crée une carte raster montrant le champ de vision d'un observateur.
- Xgrass :

Raster		
Analyze	Terrain	Perform Line-of-Sight Analysis
- `r.los`
`elevation.dem` (carte des élévations)
`file_name` (nom du fichier résultat)
598011,4926082 (coordonnées du point d'observation)
ENTER (2 fois)
25000 (choix de la distance)
ENTER

r.mapcalc

- réalise des opérations arithmétiques et logiques sur des cartes raster.

Xgrass :	Raster		
	Analyze	Overlay	Use Map Calculator
		Neighborhood	Use Map Calculator
		Terrain	Use Map Calculator

- lire absolument : **‘R.MAPCALC : An Algebra for GIS and Image Processing’** et **‘Performing Map Calculations on GRASS Data : r.mapcalc Program Tutorial’**

r.mask

- crée ou supprime un masque sur la région de travail. Le masque (une carte raster) permet aux fonctions de ne pas tenir compte des données masquées.

- r.mask
 2 (mise en place d'un 'mask')
 geology (carte géologique)
 « suivre les instructions : mettre 1 devant les catégories que l'on souhaite garder, les autres (à zéro) ne seront pas prises en compte.

r.neighbors

- crée une carte raster en appliquant un effet de voisinage : la valeur (catégorie) de chaque cellule dépend de celles autour d'elle. On peut choisir la taille de la matrice et la méthode utilisée (moyenne, la plus grande, ...).

Xgrass :	Raster		
	Analyze	Neighborhood	Perform Neighborhood Analysis

r.neighbors	
ENTER	
vegcover (carte de la végétation)	
1 (choix de la méthode)	
3 (taille de la matrice)	
file_name (nom du fichier résultat)	
ENTER	

r.patch

- crée une carte composite en superposant les catégories non nulles de plusieurs cartes raster pour remplir les aires sans données. Remarque : il faut commencer par les cartes ayant le moins de données.

- Xgrass :

Raster		
Analyze	Overlay	Create Composite from Category Values
Develop	Create Composite from Category Value	

- `r.patch`
streams (carte des cours d'eaux)
roads (carte des routes)
fields (carte des fermes)
vegcover (carte de la végétation)
ENTER
file_name (nom du fichier résultat)
ENTER

r.poly

- crée une carte vecteur en extrayant les bordures (limites) des aires (groupes de cellules de même catégorie) d'une carte raster.
- Xgrass :

Raster	
Convert	Extract Edges and Convert to Vector
- `r.poly`
fields (carte des fermes)
file_name (nom du fichier résultat)
ENTER

r.random

- crée un fichier de 'sites' de manière aléatoire à partir d'une carte raster. On peut aussi avoir en plus une carte raster contenant ces sites.
- Xgrass :

Raster	
Develop	Create Randomly Located Sites
- `r.random`
elevation.dem (carte des élévations)
file_name_raster (nom du fichier résultat, facultatif)
file_name_sites (nom du fichier résultat)
ENTER
« suivre les instructions »

r.reclass

- crée une carte raster à partir d'une reclassification (regroupement, changement, ...) des catégories d'une carte raster.
- Xgrass :

Raster	
Develop	Proximity-Reclass Reclass Data in Raster Map
- `r.reclass`
vegcover (carte de la végétation)
file_name (nom du fichier résultat)
« suivre les instructions »

r.report

- affiche un tableau statistique de répartition des catégories d'une (ou plusieurs) carte raster.
- Xgrass

Raster	
Analyze	Single Cell Report Raster Statistics
Report	Report Raster Statistics

- `r.report`
`vegcover` (carte de la végétation)
`ENTER` (si l'on veut qu'une seule carte)
`n` (pour tenir compte des cellules à 'no data')
 « suivre les instructions »

r.resample

- crée une carte raster à partir de l'échantillonnage d'une carte raster, en tenant compte de la région et du masque en cours.
- Xgrass :

Raster	
Develop	Resample GRASS Raster Map Data
- `d.zoom`
 « mettre en place une fenêtre »
`r.resample`
`elevation.dem`
`file_name` (nom du fichier résultat)
`ENTER`
`g.region -d ; d.erase ; d.rast file_name` (pour voir le résultat)

r.rescale

- crée une carte raster en réechelonnant les catégories d'une carte raster.
- Xgrass :

Raster	
Develop	Rescale Range of Category Values
- `r.rescale`
`elevation.dem` (carte des élévations)
`file_name` (nom du fichier résultat)
 « suivre les instructions »

r.slope.aspect

- crée les cartes des orientations ('aspect') et des pentes ('slope') à partir de la carte des élévations.
- Xgrass :

Raster		
Analyze	Neighborhood	Generate Slope and Aspect Maps
	Terrain	Generate Slope and Aspect Maps
- `r.slope.aspect`
`elevation.dem` (carte des élévations)
`file_name_aspect` (nom du fichier résultat)
`file_name_slope` (nom du fichier résultat)
 « suivre les instructions »

r.support

- crée / modifie les différents fichiers composant une carte raster ('header', 'stats', 'cats', 'colr' et 'hist').
- Xgrass :

Raster
Support

r.surf.contour

- crée une carte raster des élévations par interpolation à partir d'une carte aux contours 'rastérisés' : c'est à dire une carte vecteur des contours que l'on transforme en carte raster.

• Xgrass :	Raster		
	Analyze	Terrain	Create Elevation Map from Contour Map

r.surf.idw

- crée une carte raster à partir d'une carte raster aux données incomplètes par une méthode d'interpolation.

• Xgrass :	Raster		
	Analyze	Terrain	Perform IDW

r.surf.idw2

- crée une carte raster à partir d'une carte raster aux données incomplètes par une méthode d'interpolation (nouvelle version de r.surf.idw).

• Xgrass :	Raster		
	Analyze	Terrain	Perform Exhaustive IDW

r.thin

- crée une carte raster en réduisant les aires non nulles d'une carte raster à une cellule : c'est à dire qu'on obtient des lignes et des points.

- Xgrass :

Raster		
Analyze	Neighborhood	Thin Non-Zero Cells Denoting Linear Features
Convert	Thin Non-Zero Cells Denoting Linear Features	

r.watershed

- crée des cartes raster de bassins hydrologiques :

carte des accumulations

carte des directions de drainage

carte des bassins versants

carte des cours d'eaux

carte des moitiés de bassins versants (gauche, droite)

carte du résultat final

carte des étendues et escarpements des pentes (contient le facteur 'Length and Stepness' (LS) pour la 'Revised Universal Soil Loss Equation')

carte de l'étendue des pentes (contient le facteur 'Stepness' pour la 'Revised Universal Soil Loss Equation')

• Xgrass :	Raster		
	Analyze	Terrain	Generate Watershed Maps

5. Commandes 'Sites'

s.surf.idw

- crée une carte raster à partir d'un fichier de sites par une méthode d'interpolation.

- Xgrass :

Sites
Analyze Perform Surface Generation

s.surf.tps

- crée plusieurs cartes raster à partir d'un fichier de sites par une méthode d'interpolation et d'analyse topographique :

- carte des élévations
 - carte des pentes
 - carte des orientations
 - carte des profils de courbure (zones concaves et convexes)
 - carte des tangentes de courbure
 - carte des principales courbures.

Remarque : de toutes les fonctions d'interpolation proposées (r.surf.contour, r.surf.idw, r.surf.idw2 et s.surf.idw) c'est la seule qui permette la modification des paramètres de calculs (autre que le seul nombre de points pris en compte pour l'interpolation).

s.menu

- permet de manipuler des fichiers de sites.

6. Commandes d'Impression PostScript

ps.select

- sélectionne une imprimante PostScript parmi celles disponibles.

ps.map

- imprime des cartes (raster, vector, sites, ...) au format PostScript. Toutes les cartes présentes dans ce rapport ont été obtenues par cette commande.

7. Formats d'Echanges de Données

Généralement les échanges de données (import/export) sont réalisés à partir de fichiers ASCII. Notons que GRASS devient un SIG *reconnu* puisque des logiciels comme **ARC-INFO**, **IDRISI** et **ERDAS** proposent directement des échanges de fichiers au format GRASS.

Remarque : les fichiers au format DLG (Data Line Graph) et TIGER sont propres au système d'information américain.

7.1 Importation de Fichiers

7.1.1 Vecteur

Format d'entrée	Format GRASS	Commande à utiliser
ASCII DLG binary DLG ASCII vector	binary vector	v.import
ARC-INFO	GRASS vector	v.in.arc
ASCII vector	binary vector	v.in.ascii
ASCII USGS DLG-3 binary USGS DLG-3	binary vector	v.in.dlg
DXF	ASCII et binary vector	v.in.dxf
ASCII Genamap export file	ASCII vector	v.in.genamap
TIGER files	vector	v.in.tig.basic
TIGER Landmark files	vector	v.in.tig.lndmk
Census Bureau TIGER line data	vector	v.in.tig.rim
transect data	vector	v.in.transects

7.1.2 Raster

Format d'entrée	Format GRASS	Commande à utiliser
ASCII	binary	r.in.ascii
ELAS	binary	r.in.elas
ERDAS	binary	r.in.erdas
raster lat-lon	UTM raster	r.in.ll
ASCII polygon/line data file	binary	r.in.poly
SUN raster	binary	r.in.sunrast

Autres conversions possibles à l'aide de PBMPLUS :

- TGA : `tgatoppm file_name | pnmtorast | r.in.sunrast`
- LAN or TIFF : `tifftopnm file_name | pnmtorast | r.in.sunrast`

Autres commandes particulières : `r.in.riff` pour importer des fichiers TIFF
`r.in.erdas` pour importer des 'images' au format ERDAS.

7.2 Exportation de Fichiers

7.2.1 Vecteur

Format GRASS	Format de sortie	Commande à utiliser
vector	ARC-INFO	v.out.arc
binary GRASS vector	ASCII vector GRASS	v.out.ascii
binary GRASS vector	DLG-3 vector	v.out.dlg
GRASS site, line or area data	MOSS import format	v.out.moss

7.2.2 Raster

Format GRASS	Format de sortie	Commande à utiliser
raster	ASCII text file	r.out.ascii
raster	ELAS	r.out.elas